

## BAB V

### PERANCANGAN STRUKTUR JEMBATAN

#### 5.1. ALTERNATIF PEMILIHAN JENIS STRUKTUR

##### 5.1.1. Struktur atas jembatan

Jembatan Tanggi direncanakan dengan bentang 30,80 meter. Hal ini akan memberikan beberapa alternatif pemilihan jenis jembatan yang akan direncanakan untuk mengganti jembatan lama. Adapun alternatif bahan tersebut dengan mempertimbangkan segi biaya dan waktu adalah sebagai berikut :

**Tabel 5.1.** Jenis Tipe Jembatan

No	Type jembatan	Bentang ( m )
1	Jembatan Komposit I Gelagar baja + plat beton	6 - 24
2	Jembatan beton bertulang Gelagar beton ( konv ) balok T	6 - 26
3	Jembatan beton bertulang Gelagar beton ( konv ) box	12 – 28
<b>4</b>	<b>Jembatan gelagar prategang I</b>	<b>10 – 36</b>
5	Jembatan gelagar pratekan T terbalik	14 – 24
6	Jembatan gelagar pratekan T	18 - 44
7	Jembatan gelagar pratekan V	16 - 36

*Sumber : Buku Ajar T.Sipil UNDIP*

**Tabel 5.2.** Alternatif Struktur Bangunan Atas

No	Tipe Struktur Atas Jembatan	Bentang ( m )
1	Rangka lantai bawah dengan papan kayu	20 – 50
2	Rangka lantai atas dengan papan kayu	20 – 50
3	Gelagar baja dengan lantai papan kayu	5 – 35
4	Gelagar baja dengan lantai baja	5 – 25
5	Gelagar baja dengan lantai beton komposit	35 - 90
6	Gelagar beton T	6 – 25
7	Gelagar beton boks	12 – 30
<b>8</b>	<b>Gelagar I dengan lantai komposit</b>	<b>12 – 35</b>
9	Gelagar T pasca penegangan	20 – 45
10	Gelagar boks pasca penegangan dengan lantai komposit	18 - 40

*Sumber : Buku Ajar T.Sipil UNDIP*

#### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Dari beberapa alternatif tersebut diatas, jembatan Tanggi menggunakan tipe jembatan dengan struktur atas berupa **gelagar prategang I dengan lantai komposit** bentang sederhana. Jembatan tipe ini dipilih karena proses dapat dikerjakan dipabrik atau dilokasi pekerjaan dengan menggunakan beton *ready mix* sehingga mutunya terjamin ( seragam ). Selain itu, jembatan tipe ini mudah dalam pelaksanaan dan biaya pemeliharaan lebih rendah.

### 5.1.2. Struktur Bawah Jembatan

#### Pangkal Jembatan ( *Abutment* )

Jenis *abutment* yang dipilih dilihat dari tinggi badan *abutment* tersebut. Bentuk alternatif *abutment* tertera seperti dibawah ini :

**Tabel 5.3.** Jenis *Abutment* Jembatan

Jenis <i>Abutment</i>	Tinggi ( meter )
Pangkal Tembok Penahan kantilever	0 -8
Pangkal Tembok Penahan Gravitasi	3 – 4
<b>Pangkal Tembok Penahan Kontrafort</b>	<b>6 -20</b>
Pangkal Kolom " <i>Spill Through</i> "	0 – 20
Pangkal Balok Cap Tiang Sederhana	0 – 20
Pangkal Tanah Bertulang	5 - 15

Sumber : Buku Ajar T.Sipil UNDIP

Dari beberapa alternatif tersebut diatas dipilih **tipe *abutment* tembok penahan kontrafort dengan bahan beton**. Abutmen tipe ini dipilih karena kemampuan *abutment* menahan beban, kekuatan bahan *abutment* dan pelaksanaannya mudah.

#### Pondasi

Penentuan jenis pondasi dilihat dari kedalaman lapisan tanah pendukung. Bentuk alternatif pondasi tertera pada tabel dibawah ini :

**Tabel 5.4.** Jenis – jenis pondasi

Jenis Pondasi	Kedalaman Lap. Pendukung
Pondasi langsung	0 – 3 m
<b>Pondasi sumuran</b>	<b>3 – 15 m</b>
Pondasi tiang beton	15 – 60 m
Pondasi tiang baja	7 - ~ m

Sumber : Buku Ajar T.Sipil UNDIP

Pada analisa penyelidikan tanah didapat kedalaman lapisan tanah pendukung ( tanah keras ) adalah 3 – 3,6 m Dari berbagai alternatif jenis pondasi tersebut diatas, dipilih jenis **pondasi sumuran**.

## 5.2. PERANCANGAN STRUKTUR

### 5.2.1. Data - Data Perancangan

1. Nama Jembatan : Jembatan Tanggi
2. Lokasi Jembatan : Ruas Jalan Salatiga – Boyolali KM SMG.57+000  
atau Sta.14+400
3. Jenis Jembatan : Lalu Lintas Atas
4. Status Jalan : Jalan Arteri Primer Kelas 1
5. Konstruksi Jembatan : Jembatan Prategang I dengan Lantai Komposit
6. Data Konstruksi Jembatan :
  - Bentang Jembatan : 30,80 m (tanpa pilar)
  - Lebar Jembatan : 9,00 m (2 lajur)
  - Lebar Jalur :  $2 \times 3,5$  m
  - Lebar Bahu Jalan : 1,00 m
7. Bangunan bawah : *abutment* tembok penahan *kontrafort*
8. Tipe pondasi : pondasi sumuran

### 5.2.2. Spesifikasi bahan untuk struktur

#### a. Beton

Struktur utama dalam perencanaan ini hampir seluruhnya menggunakan konstruksi dari beton bertulang. Mutu beton yang digunakan dalam perencanaan konstruksi jembatan dapat dilihat dibawah ini :

- a. Gelagar Prategang = K – 500
- b. Plat lantai, plat injak dan diafragma = K – 350
- c. Deck slab, cincin pondasi, *wingwall*, sandaran = K – 225
- d. *Abutment* = K – 250

#### b. Baja Tulangan

Tulangan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tulangan yang ada dipasaran dengan alasan mudah didapat dan umum bagi pelaksana dilapangan. Mutu baja yang digunakan :

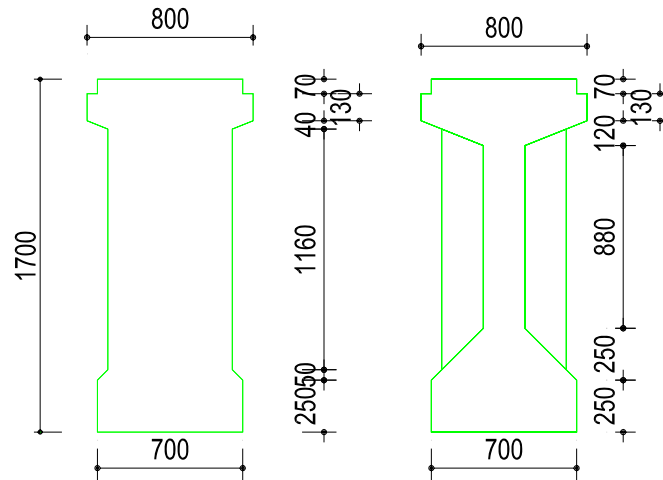
- a. Kuat tarik ulur baja *prestress*  $18.000 \text{ kg/cm}^2$
- b. Baja tulangan  $D > 13 \text{ mm}$  menggunakan U – 39
- c. Baja tulangan  $D < 13 \text{ mm}$  menggunakan U – 24
- d. Mutu baja *railing* mengikuti SK-SNI yang ada atau Standard ASTM

#### c. Balok Prategang

Balok prategang yang digunakan dipesan dari PT.Wijaya Karya dengan dimensi yang sudah ada dengan tinggi balok 170 cm dan panjang 30,80 m. Adapun untuk spesifikasi dimensi yang sudah ada adalah sebagai berikut :

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga – Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



Gambar 5.1. Dimensi Balok Girder

**d. Kabel Prategang ( Tendon )**

Kabel prategang yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Diameter nominal	= $\frac{1}{2}$ "
Tegangan ultimate minimum ( fpu )	= 190 kg / mm <sup>2</sup>
Tegangan leleh minimum ( fpy )	= 160 kg / mm <sup>2</sup>
Nominal section Ap	= 98,71 kg / mm <sup>2</sup>
Kabel tendon yang digunakan	= Seven Wire Strand

**e. Elastomer**

Dimensi elastomer yang digunakan dalam perencanaan ini dapat didimensi sendiri, kemudian dipesankan kepada pihak supplier. Dimensi rencana yang digunakan dalam perhitungan adalah (40 x 45 x 45) cm.

**f. Pipa Baja**

Pipa baja digunakan dalam sandaran. Dipasang pada jarak tepi 150 cm dan jarak tengah setiap 200 cm. Diameter pipa yang digunakan Ø 7,63 cm.

**5.3. PERHITUNGAN STRUKTUR****5.3.1. Perhitungan Pembebanan**

Berdasarkan buku "Panduan Perencanaan Teknik Jembatan – *Bridge Manajemen System* tahun 1992" data pembebanan terdiri dari :

- 1) Beban berat sendiri (beban mati)
- 2) Beban mati tambahan
- 3) Beban kendaraan rencana (beban truk "T")
- 4) Beban lajur "D" dan beban garis "KEL"
- 5) Gaya rem

- 6) Beban pejalan kaki
- 7) Beban angin

### 1) Beban mati

Berat jenis bahan untuk batas ultimate (*ULS*) dalam perhitungan konstruksi sebesar :

- Beton bertulang =  $25 \cdot 1,3 \text{ kN/m}^3$   
= **3,25 T/m<sup>3</sup>**
- Beton aspal =  $22 \cdot 1,0 \text{ kN/m}^3$  (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)  
= **2,2 T/m<sup>3</sup>**
- Beton prategang =  $26 \cdot 1,2 \text{ kN/m}^3$  (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)  
= **3,12 T/m<sup>3</sup>**
- Beton konvensional =  $25 \cdot 1,2 \text{ kN/m}^3$  (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)  
= **3,0 T/m<sup>3</sup>**

### 2) Beban kendaraan rencana (beban truk "T")

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan harus digunakan beban "T", yaitu beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar **10 ton**.

### 3) Beban lajur "D" dan beban garis "KEL"

#### ➤ Beban "D"

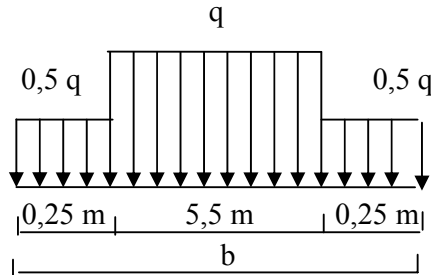
Untuk bentang 30,8 meter, menurut BMS-1992 hal 2-22 perhitungannya menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 q &= 8,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \\
 &= 8,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{30,8}\right) \text{ kPa} \\
 &= 7,896 \text{ kPa} \\
 &= 0,79 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

Karena jembatan termasuk kelas I (BM 100) maka pembebanannya menjadi:

$$q = 1 \times 0,79 = 0,79 \text{ T/m}^2$$

Menurut BMS 1992 hal 2-24, untuk jembatan dengan lebar lantai >5,5 m beban "D" didistribusikan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 5.2. Distribusi Beban "D"

Ket. : beban "D" seluruhnya (100 %) dibebankan pada lebar jalur 5,5 m, sedangkan selebihnya dibebani 50 % "D".

Pada Jembatan Tanggi, balok prategang yang digunakan sebanyak 5 buah, tentunya dalam perencanaan digunakan balok yang pembebanannya paling berat yaitu balok tengah, maka beban "D" yang digunakan akan sebesar **0,79 T/m<sup>2</sup>** karena dalam wilayah balok tersebut persebaran beban "D" masih 100%.

#### ➤ Beban "KEL"

Menurut BMS 1992 hal 2-22, beban garis "KEL" sebesar  $p$  KN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

$$q_P = 44 \text{ kN/m}$$

$$= 4,4 \text{ T/m}$$

Pada beban KEL terdapat faktor beban Dinamik (DLA) yang mempengaruhi, maka besarnya DLA jembatan Tanggi :

BM 100	$q_P \longrightarrow$	$= 100\% \cdot 4,4 = 4,4 \text{ T/m}$
$L \geq 90 \text{ m}$	$\longrightarrow$	$DLA = 30 \%$
$L \leq 50 \text{ m}$	$\longrightarrow$	$DLA = 40 \%$
$L = 30,8 \text{ m}$	$\longrightarrow$	$DLA = 40 \%$

Dengan  $DLA = 40 \%$  maka  $q_P = (100\% + 40\%) \cdot 4,4$

$$= 6,16 \text{ T/m}$$

$$P = 6,16 \cdot 1,85 = 11,396 \text{ T}$$

#### 4) Gaya rem

Pengaruh rem dan percepatan lalu lintas harus dipertimbangkan sebagai gaya memanjang. Gaya ini tidak tergantung pada lebar jembatan, tetapi gaya ini tergantung pada panjang struktur yang tertahan atau bentang jembatan.

Berdasar **Tabel 2.20.**, besarnya gaya rem untuk bentang 30,80 m :

$$\text{Gaya Rem bentang} < 80 \text{ m} \leq 250 \text{ KN}$$

$$\text{Gaya Rem bentang} > 100 \text{ m} \geq 300 \text{ KN}$$

$$\text{Gaya Rem Balok Tanggi} = 250 \text{ kN} = 25 \text{ T}$$

### 5) Beban angin

Berdasarkan BMS 1992 hal 2-44, karena Jembatan Tanggi didaerah jauh dari pantai ( $> 5 \text{ km}$ ), maka rencana kecepatan angin yang digunakan sebesar  $25 \text{ m/dt}$  sedang  $C_w$  yang digunakan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{b/d jembatan Tanggi} &= \frac{7,0 + 2 \times 2,0}{1,6 + 0,07 + 0,20 + 0,25 + 0,05 + 0,95} \\ &= 3,52 \\ \text{C}_w \text{ untuk b/d} = 2 &\text{ adalah } 1,5 \\ \text{C}_w \text{ untuk b/d} = 6 &\text{ adalah } 1,25 \\ \text{C}_w \text{ untuk b/d} = 3,52 &\text{ adalah } 1,5 + \frac{(1,5 - 1,25) \times (6 - 3,52)}{(6 - 2)} = 1,655 \end{aligned}$$

Dianggap ada angin yang lewat bekerja merata di seluruh permukaan struktur atas jembatan, maka  $T_{ew}$  (beban angin) yang digunakan sebesar:

$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ kN.....BMS 1992 hal 2-43} \\ &= 0,0006 \cdot 1,655 \cdot 25^2 \cdot (3,12) \\ &= 1,94 \text{ kN/m} \\ &= 194 \text{ Kg/m,} \end{aligned}$$

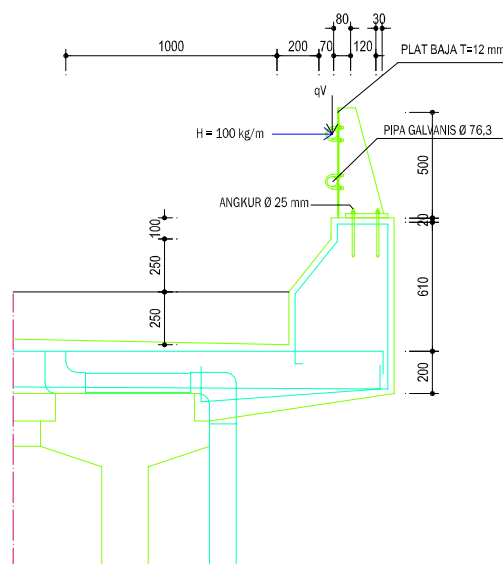
Beban angin per  $\text{m}^2$ :

$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0006 C_w (V_w)^2 \text{ kN} \\ &= 0,0006 \cdot 1,655 \cdot 25^2 \\ &= 0,621 \text{ kN/m}^2 = 0,0621 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

### 5.3.1. Perhitungan Struktur Atas

#### 5.3.1.1. Sandaran

##### Pipa Sandaran



Gambar 5. 3. Detail Dimensi Sandaran

### Laporan Tugas Akhir

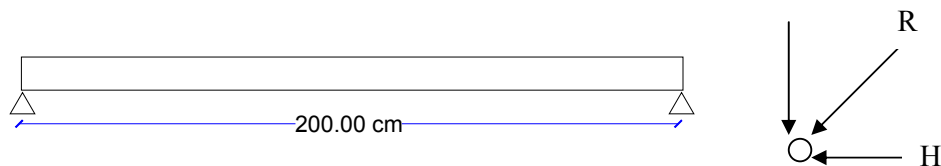
Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Spesifikasi teknis :

- Muatan Horizontal = 100 kg/m
- Jarak tiang sandaran = 200 cm
- Tinggi tiang sandaran = 50 cm
- Dimensi tiang sandaran = pipa baja galvanis Ø 76,3 mm BJ-37  
(  $\sigma_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2$  )
- Dari tabel baja diperoleh :
  - T = 2,4 mm
  - G = 4,73 kg/m
  - W = 9,98 cm<sup>3</sup>

Pembebanan :

- Beban Vertikal
  - Beban mati = 4,73 kg/m ( berat pipa )
  - Beban hidup = 100 kg/m
  - qVertikal ( qv ) = ( 1,2 x 4,73 ) + ( 1,6 x 100 )  
= 165,68 kg/m
- Beban Horizontal = 100 kg/m

**Gambar 5. 4.** Resultan gaya pada pipa sandaranPerhitungan :

$$R = \sqrt{(qv^2 + H^2)}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{(165,68^2 + 100^2)} \\
 &= 193,52 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Cek kekuatan pipa :

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= 1/8 \times R \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 193,52 \times 2^2 \\
 &= 9676 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{9676}{9,98} = 969,54 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ .....Aman !!!}$$

**Tiang Sandaran****Laporan Tugas Akhir**

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



Tiang sandaran diasumsikan sebagai struktur jembatan yang diperhitungkan mampu menahan beban horisontal sebesar 100 kg dan mampu menahan *railing* sandaran.

Data perhitungan :

- ✦  $f_c$  = 22,5 Mpa
- ✦  $f_y$  = 320 Mpa
- ✦  $b$  = 15 cm
- ✦  $h$  = 20 cm
- ✦  $p$  = 4 cm
- ✦  $\varnothing_{Tulangan}$  = 12 mm
- ✦  $\varnothing_{Begel}$  = 8 mm
- ✦ Jarak tiang sandaran = 2 m

Perhitungan tulangan utama :

$$\begin{aligned} d &= h - p - 0,5 \varnothing_{Tulangan} - \varnothing_{Begel} \\ &= 200 - 40 - 0,5 \cdot 12 - 8 \\ &= 146 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= P \cdot L \cdot H \\ &= 100 \cdot 2 \cdot (1,0 + 0,25 - 0,1) \\ &= 230 \text{ kgm} \\ &= 2,3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \quad ; \quad \phi = 0,8 \text{ (Faktor reduksi untuk menahan momen lentur)} \\ &= \frac{2,3}{0,8} = 2,875 \text{ kNm} \\ &= 28750 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$R_I = 0,85 \cdot f_c = 0,85 \cdot 225 = 191,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_u = R_I \cdot b \cdot d^2 \cdot F \left(1 - \frac{F}{2}\right)$$

$$K = F \left(1 - \frac{F}{2}\right)$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{M_n}{(b \cdot d^2 \cdot R_I)} = \frac{28750}{15 \cdot 14,6^2 \cdot 191,25} \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 1 - \sqrt{1 - 2K} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,047} \\ &= 0,0482 \end{aligned}$$

$$F_{max} = \beta_1 \cdot 450 / (600 + f_y) = 0,85 \cdot 450 / (600 + 320)$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$= 0,41576087$$

$$F_{min} = \frac{14}{RI} = \frac{14}{191,25} = 0,0732 \geq F \text{ maka diambil } F_{min} = 0,0732$$

$$A_s = F * b * d * RI / f_y = 0,0732 * 150 * 146 * 1,9125 / 32$$

$$= 95,80 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan utama **2Ø12** dengan  $A_s' = 226 \text{ mm}^2$

Checking :

As tulangan yang dipakai adalah  $226 \text{ mm}^2$

Kontrol Rasio Penulangan

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= \beta_1 [450 / (600 + f_y)] * (RI / f_y) = 0,85 [450 / (600 + 320)] * (19,125 / 320) \\ &= 0,024848208 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\begin{aligned} \rho &= A_s \text{ terpasang} / (b * d) \\ &= 226 / (150 * 146) \\ &= 0,01032 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} > \rho > \rho_{min}$$

$$0,024848208 > 0,01032 > 0,004375 \text{ .....OK!!!}$$

Perhitungan tulangan geser :

$$V = 100 \text{ kg}$$

$$V_u = \frac{V}{\phi} = \frac{100}{0,6}$$

$$= 167 \text{ kg} = 1670 \text{ N}$$

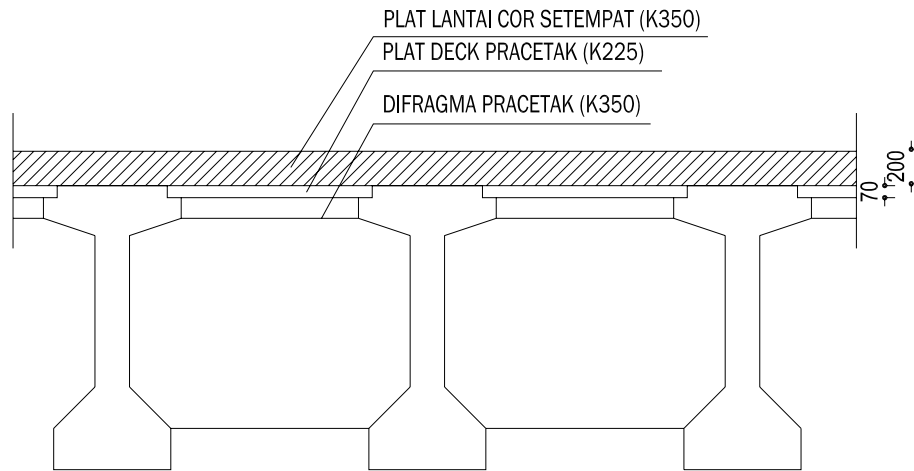
$$V_c = 0,2 * \lambda * \sqrt{f'_c * b * d}$$

$$= 0,2 * 1 * \sqrt{25 * 150 * 156}$$

$$= 23400 \text{ N} > V_u = 1670 \text{ N} ; \text{ Maka tidak perlu tulangan geser}$$

**Dipakai sengkang praktis Ø 8 – 200**

## 5.3.1.2. Pelat Lantai Kendaraan



Gambar 5.5. Skema Pelat Lantai Kendaraan

**Spesifikasi teknis :**

Tebal lantai	=	20 cm
Tebal perkerasan	=	5 cm
Panjang plat beton	=	7,4 m
Mutu beton ( $f_c$ )	=	35 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	=	280 Mpa
Jarak antar girder	=	1,85 m
Bentang	=	30,8 m

Perhitungan koefisien momen maksimum diambil dari Tabel GTBPP hal.24 :

$$M_{lap} = \frac{1}{11} q l^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{10} q l^2$$

**Pembebanan :****Beban Tetap ( mati )**

Beban tetap per 1 m<sup>2</sup> adalah sebagai berikut :

Berat sendiri plat	=	$0,2 \times 1 \times 2500$	=	500 kg/m
Berat pavement	=	$0,05 \times 1 \times 2300$	=	115 kg/m
Berat air hujan	=	$0,10 \times 1 \times 1000$	=	100 kg/m
Jumlah qd	=		=	715 kg/m

$$q_u = 1,2 \times q_d$$

$$= 1,2 \times 715$$

$$= 858 \text{ kg/m} = 8,58 \text{ kN/m}$$

$$M_{lap} = \frac{1}{11} \times 8,58 \times 1,85^2 = 2,67 \text{ kNm}$$

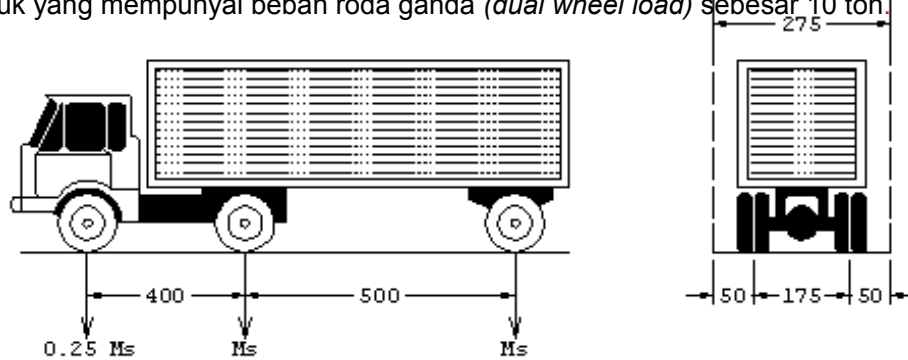
$$M_{tump} = \frac{1}{10} \times 8,58 \times 1,85^2 = 3,03 \text{ kNm}$$

**Laporan Tugas Akhir**

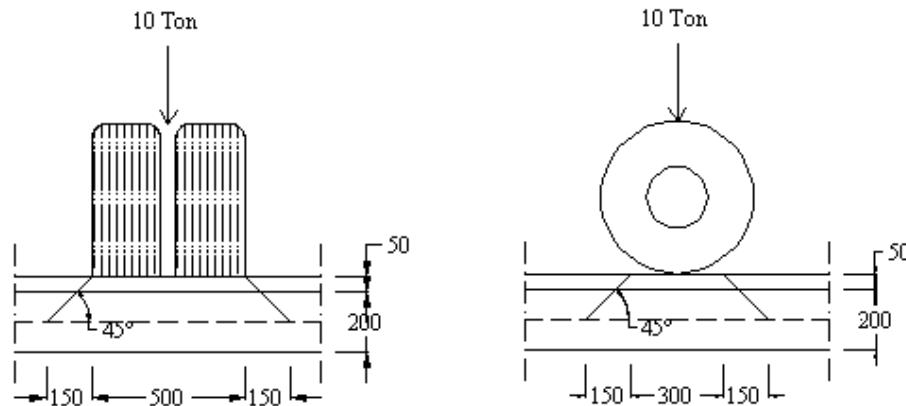
Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

**Beban Muatan ( T )**

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan harus digunakan beban “T”, yaitu beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton.

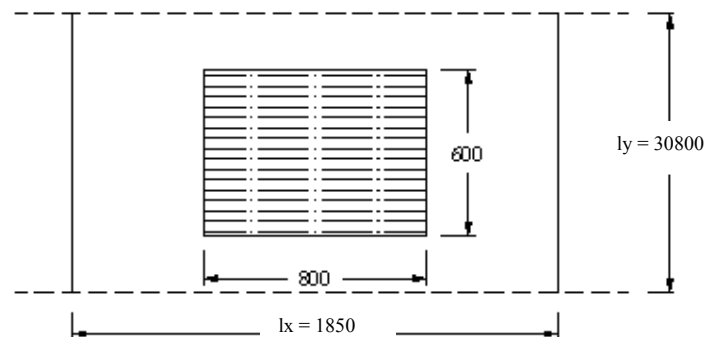


**Gambar 5.6.** Gambar kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton.



**Gambar 5.7.** Penyebaran beban satu roda

**Tinjauan keadaan beban satu roda :**



**Gambar 5.8.** Tinjauan pembebanan terhadap beban satu roda

$$b_x = 50 + (2 \times 15) = 80 \text{ cm}$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$b_y = 30 + (2 \times 15) = 60 \text{ cm}$$

$$L_x = 1,85 \text{ m}$$

$$L_y = 30,80 \text{ m ( diafragma tidak mendukung lantai )}$$

Jembatan Kelas I = 100 % Muatan Bina Marga

$$T = 10 \text{ ton} = 100 \text{ kN}$$

Beban yang diterima plat :

$$q = T / 0,6$$

$$= 100 / 0,6$$

$$= 166,67 \text{ kN/m}$$

Faktor pembebanan :

$$q_u = 1,6 q$$

$$= 1,6 \times 166,67$$

$$= 266,67 \text{ kN/m}$$

Reaksi tumpuan :

$$R_a = \frac{266.67 \times 0.8 \times (0.4 + 0.525)}{1.85}$$

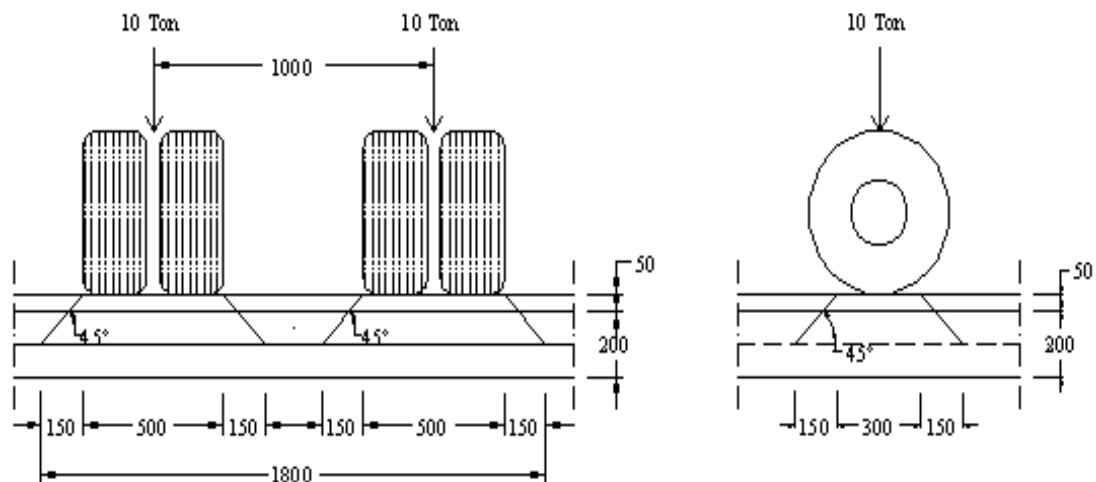
$$= 106.67 \text{ kN}$$

Momen maximum yang terjadi di tengah bentang :

$$M_o = R_a \times (\frac{1}{2} L_x) - \frac{1}{2} q_u \times (\frac{1}{2} b_x)^2$$

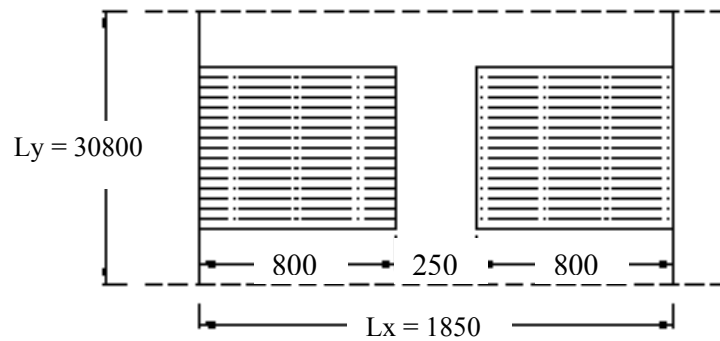
$$= 106,67 \times 0,925 - 133,34 \times (0,4)^2$$

$$= 77,34 \text{ kNm}$$



Gambar 5.9. Penyebaran beban dua roda

Tinjauan keadaan beban dua roda :



Gambar 5.10. Tinjauan pembebanan terhadap beban dua roda

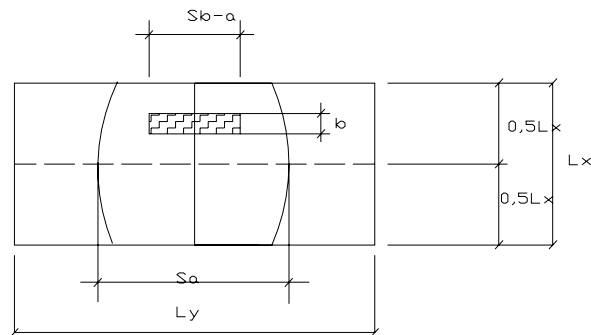
$$L_x = 1,85 \text{ m}$$

$$L_y = 30,80 \text{ m ( diafragma tidak mendukung lantai )}$$

Jembatan Kelas I = 100 % Muatan Bina Marga

$$\begin{aligned} R_a &= 0,80 \times 266,67 \\ &= 213,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_o &= ( 0,925 \times R_a ) - ( 0,80 \text{ qu } ) \times ( 0,80/2 + 10 ) \\ &= ( 0,925 \times 213,34 ) - ( 0,80 \times 266,67 ) \times ( 0,4 + 10 ) \\ &= 66,46 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 5.11. Tampak atas penyebaran beban roda

Koefisien tumpuan  $r = 2/3$  ( tumpuan jepit bebas )

Lebar kerja plat (  $S_a$  ) beban sendiri di tengah

$$\begin{aligned} 3 \times r \times L_x &= 3 \times ( 2/3 ) \times 1,85 \\ &= 4,1625 \text{ m} < L_y = 30,80 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } S_a &= ( \frac{3}{4} ) a + ( \frac{3}{4} ) r L_x \\ &= ( \frac{3}{4} ) ( 0,80 ) + ( \frac{3}{4} ) ( 2/3 ) ( 1,85 ) \\ &= 1,525 \text{ m} \\ &= 152,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Lebar kerja plat beban tidak berdiri di tengah

$$L_y > r L_x$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } S_a &= \left( \frac{3}{4} \right) a + \left( \frac{1}{4} \right) r L_x \\ &= \left( \frac{3}{4} \right) (0,80) + \left( \frac{1}{4} \right) \left( \frac{2}{3} \right) (1,85) \\ &= 0,90 \text{ m} \\ &= 90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$S_b = a$$

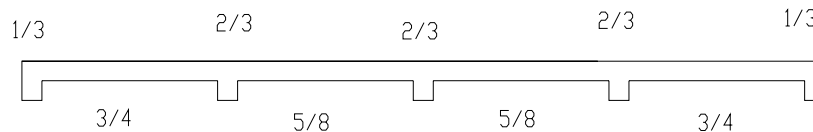
$$S_b = 80 \text{ cm}$$

Maka lebar kerja manfaat plat yang menentukan

$$S_a = 90 \text{ cm}$$

$$S_b = 80 \text{ cm}$$

Momen :



**Gambar 5.12.** Distribusi momen pada plat

Dari perhitungan momen (  $M_o$  ), ternyata  $M_o$  maximum pada saat satu roda ditengah bentang  $L_x$

$$ML_{x_2} = 3M_o / 4S_a = 3 \times 77,34 / 4 \times 0,90 = 64,45 \text{ kNm}$$

$$MT_{x_2} = 2M_o / 3S_b = 2 \times 77,34 / 3 \times 0,80 = 64,45 \text{ kNm}$$

$$L_y / L_x \geq 3$$

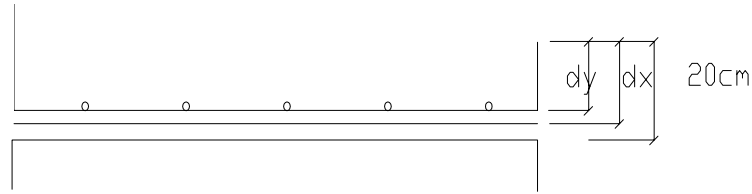
$$ML_y = 40,88 \text{ kNm}$$

Momen total

$$\begin{aligned} ML_x &= ML_{x_1} + ML_{x_2} \\ &= 2,67 + 64,45 \\ &= 67,12 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MT_x &= MT_{x_1} + MT_{x_2} \\ &= 3,03 + 64,45 \\ &= 67,48 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML_y = 40,88 \text{ kNm}$$

**Penulangan :****Penulangan ( arah x lapangan )****Gambar 5.13.** Tinggi efektif penulangan plat arah x lapangan

$$\begin{aligned} dx &= 200 - 40 - 16/2 \\ &= 152 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{MLx}{0.8} \\ &= 83,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RI &= 0,85 f_c \\ &= 0,85 \times 35 \\ &= 29,75 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{max} &= \frac{\beta_1 450}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 450}{600 + 280} \\ &= 0,435 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{min} &= \frac{1,4}{RI} \\ &= \frac{1,4}{29,75} \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{Mn}{bd^2 RI} \\ &= \frac{83,9 \times 10^{-3}}{1 [0,152]^2 29,75} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} = 0,120$$

Maka :

$$F_{min} < F < F_{max}$$

$$\begin{aligned} As &= F b d \times RI / F_y \\ &= 0,12 \times 1000 \times 152 \times ( 29,75/280 ) \end{aligned}$$

**Laporan Tugas Akhir**

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



$$= 1938 \text{ mm}^2$$

Digunakan D16 – 100 (  $A_s = 2011 \text{ mm}^2$  )

Kontrol kapasitas penampang :

$$A_s = 2011 \text{ mm}^2$$

$$F = \frac{A_s * f_y}{b * d * R_I}$$

$$= \frac{2011 * 280}{1000 * 152 * 29.75}$$

$$= 0,125$$

Maka :

$$F_{min} < F < F_{max}$$

$$0,047 < 0,125 < 0,435 \dots\dots\dots \text{OK!!!!}$$

Kontrol rasio penulangan :

$$A_s = 2011 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$= 0,013$$

Maka :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,005 < 0,013 < 0,042 \dots\dots\dots \text{OK!!!!}$$

**Penulangan ( arah x tumpuan )**

$$M_u = \frac{MTx}{0.8}$$

$$= \frac{67,48}{0.8}$$

$$= 84,35 \text{ kNm}$$

$$d = 200 - 40 - 16/2$$

$$= 152 \text{ mm}$$

$$K = \frac{Mn}{bd^2 R_I}$$

$$= \frac{84,35 * 10^{-3}}{1 [0.152]^2 29.75}$$

$$= 0,120$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

$$= 0,120$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Maka :

$$F_{min} < F < F_{max}$$

$$F = 0,120$$

$$\begin{aligned} A_s &= F b d x R I / F_y \\ &= 0,12 \times 1000 \times 152 \times (29,75/280) \\ &= 1938 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D16 – 100 (  $A_s = 2011 \text{ mm}^2$  )

Kontrol kapasitas penampang :

$$A_s = 2011 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{A_s * f_y}{b * d * R I} \\ &= \frac{2011 * 280}{1000 * 152 * 29.75} \\ &= 0,125 \end{aligned}$$

Maka :

$$F_{min} < F < F_{max}$$

$$0,047 < 0,125 < 0,435 \dots\dots\dots \text{OK!!!!}$$

Kontrol rasio penulangan :

$$A_s = 2011 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b * d} \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

Maka :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,005 < 0,013 < 0,042 \dots\dots\dots \text{OK!!!!}$$

#### Penulangan ( Arah y Lapangan )

$$M_{ly} = 40,88 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_{Ly}}{0.8}$$

$$= 51,1 \text{ kNm}$$

$$d_y = 200 - 40 - 16 - 16/2$$

$$= 136 \text{ mm}$$

$$K = \frac{M_n}{b d^2 R I}$$

#### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$= \frac{51.1 * 10^{-3}}{1 [0.136]^2 29.75}$$

$$= 0,092$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K} = 0,096$$

Maka :

$$F_{min} < F < F_{max}$$

$$F = 0,096$$

$$\begin{aligned} A_s &= F b d x R I / F_y \\ &= 0,096 x 1000 x 136 x ( 29,75/280 ) \\ &= 1387,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D16 – 100 (  $A_s = 2011 \text{ mm}^2$  )

Kontrol kapasitas penampang :

$$A_s = 2011 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{A_s * f_y}{b * d * R I} \\ &= \frac{2011 * 280}{1000 * 136 * 29.75} \\ &= 0,139 \end{aligned}$$

Maka :

$$F_{min} < F < F_{max}$$

$$0,047 < 0,139 < 0,435 \dots\dots\dots \text{OK!!!!}$$

Kontrol rasio penulangan :

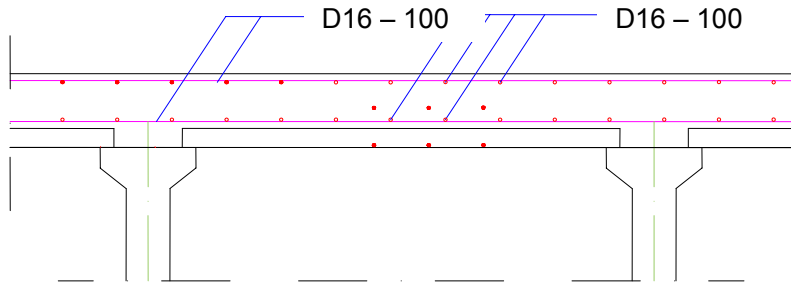
$$A_s = 2011 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b * d} \\ &= 0,015 \end{aligned}$$

Maka :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,005 < 0,015 < 0,042 \dots\dots\dots \text{OK!!!!}$$



Gambar 5.14. Sketsa Penulangan pada plat Lantai Kendaraan

### 5.3.1.3. Beton Prategang

#### Spesifikasi Teknis :

Lebar Jembatan	= 9 meter
Panjang Jembatan	= 30,80 meter
Jarak Antar Gelagar	= 1,85 meter
Kelas Jalan	= 1
Mutu Beton Balok Girder ( $f'_c$ )	= K-500 ( 50 Mpa )
Mutu Beton Plat Lantai ( $f'_c$ )	= K-350 ( 35 Mpa )

#### Tegangan Ijin :

$$f'_c = 50 \text{ Mpa}$$

$$f'_{ci} = 0,9 \times 50$$

$$= 45 \text{ Mpa}$$

#### a. Tegangan Awal

$$f_{ci} = 0,6 \times f'_{ci}$$

$$= 0,6 \times 45$$

$$= 27 \text{ Mpa}$$

$$f_{ti} = 0,5 \sqrt{f'_{ci}}$$

$$= 0,5 \sqrt{45}$$

$$= 3,35 \text{ Mpa}$$

#### b. Tegangan Akhir

$$f_{ci} = 0,45 \times f'_c$$

$$= 0,45 \times 50$$

$$= 22,5 \text{ Mpa}$$

$$f_{ti} = 0,5 \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,5 \sqrt{50}$$

$$= 3,54 \text{ Mpa}$$

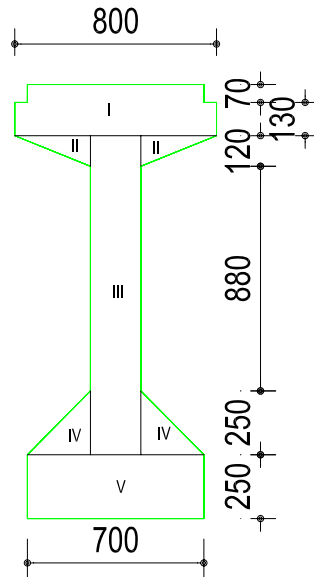
### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Dalam perencanaan ini digunakan tanda positif untuk tegangan tekan (+) dan tanda negatif untuk tegangan tarik (-)

### Analisa Penampang Balok :

#### 1. Sebelum Komposit



**Gambar 5.15.** Gambar Potongan Melintang Balok Girder 30,8 m

**Tabel 5.5.** Analisa Penampang Balok Prategang

No Ruas	Luas Ruas (A) cm <sup>2</sup>	Jarak titik B ke titik berat Ruas (cm)	Statis Momen
I	687.5	153.75	105703.125
II	138.75	145	20118.75
III	2250	85	191250
IV	235	25.83	6070.83
V	1462.5	11.25	16453.125
<b>Jumlah</b>	<b>4773.75</b>		<b>339595.83</b>

Titik Berat Balok :

$$Y_B = \frac{339595,8}{4773,75} = 71,138 \text{ cm}$$

$$Y_a = 170 - 71,138 = 88,862 \text{ cm}$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Tabel 5.6. Momem Inersia (  $I_x$  ) Prategang

No Ruas	Perhitungan Momen Inersia ( $I_x + A_x \cdot y^2$ )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )
I	$1/12 \cdot 55 \cdot 12,5^3 + 687,5 \cdot (153,75 - 71,138)^2$	4700943.147
II	$2\{1/36 \cdot 18,5 \cdot 7,5^3 + 138,75 \cdot (145 - 71,138)^2\}$	1514354.299
III	$1/12 \cdot 18 \cdot 125^3 + 2250 \cdot (85 - 71,138)^2$	3362025.819
IV	$2\{1/36 \cdot 235,5 \cdot 10^3 + 235 \cdot (71,138 - 25,833)^2\}$	965993.771
V	$1/12 \cdot 55 \cdot 12,5^3 + 1462,5 \cdot (71,138 - 11,25)^2$	5307091.134
	$\Sigma I_x$ (cm <sup>4</sup> )	<b>15850408.170</b>

$$W_a = \frac{I_x}{Y_a} = \frac{15850408}{88,862} = 178371 \text{ cm}^3$$

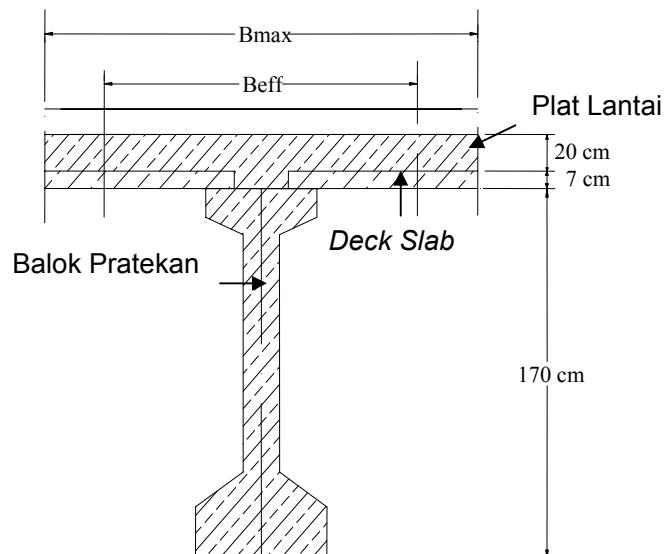
$$W_b = \frac{I_x}{Y_b} = \frac{15850408}{71,138} = 222812 \text{ cm}^3$$

Penentuan Batas inti Balok Prategang :

$$K_A = \frac{15850408,17}{4773,75 \cdot 71,138} = 46,674 \text{ cm}$$

$$K_B = \frac{15850408,17}{4773,75 \cdot 88,862} = 37,365 \text{ cm}$$

## 2. Sesudah Komposit



Gambar 5.16. Komposit Balok Prategang

## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Luas Plat Ekvivalen

Lebar efektif balok komposit :

$$b_e = \frac{1}{4} \times L = \frac{1}{4} \times 3080 = 770 \text{ cm}$$

$$b_e = b + 16 t = 55 + (16 \times 20) = 375 \text{ cm}$$

$$b_e = \text{jarak antar balok} = 185 \text{ cm}$$

$$\text{Dipilih } b_e \text{ terkecil} = 185 \text{ cm}$$

$$\text{Mutu Beton Girder ( } f'c \text{ )} = \text{K-500 ( 50 Mpa )}$$

$$\text{Mutu Beton Plat Lantai ( } f'c \text{ )} = \text{K-350 ( 35 Mpa )}$$

Mutu Beton ekivalen ( n ) :

$$n = \frac{2500^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{35}}{2500^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{50}} = 0,83$$

Lebar plat efektif (  $b_{ef}$  ) :

$$\begin{aligned} b_{ef} &= n \times b_e \\ &= 0,83 \times 185 \\ &= 153,55 \text{ cm} \end{aligned}$$

Luas plat efektif (  $A_{plat}$  ) :

$$\begin{aligned} A_{plat} &= 20 \times 153,55 \\ &= 3071 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jarak plat keatas (  $y_{plat}$  ) :

$$\begin{aligned} y_{plat} &= h + t/2 \\ &= 170 + 20/2 \\ &= 180 \text{ cm} \end{aligned}$$

Luas Balok Komposit :

$$\begin{aligned} A_c' &= 4770,05 + 3071 \\ &= 7841,05 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Statis Momen :

$$\begin{aligned} S_x' &= s_x + ( A_c' \times y_{plat} ) \\ &= 339595.83 + (7841,05 \times 170) \\ &= 762363,77 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Jarak dari serat atas :

$$Y_b' = \frac{S_c}{A'} = \frac{762363,77}{7841,05} = 107,9 \text{ cm}$$

Jarak dari serat bawah :

$$\begin{aligned} Y_a' &= (170+20) - 107,9 \\ &= 72,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Momen Inersia (  $I_x'$  )

$$I_x' = I_x + A_c ( y_b' - y_b )^2 + I_{plat} + A_{plat} ( y_b' - y_{plat} )^2$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$\begin{aligned}
 &= 15850408.170 + 7841,05(107,9 - 71,138) + (1/12 \times \\
 &\quad 153,55 \times 20^3) + 3071(107,9 - 170) \\
 &= 27018103,6 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Momen lawan bagian atas komposit :

$$W_a' = \frac{27018103,6}{72,1} = 406967 \text{ cm}^3$$

Momen lawan bagian bawah komposit :

$$W_b' = \frac{27018103,6}{107,9} = 245684 \text{ cm}^3$$

Penentuan Batas inti Balok Prategang :

$$K_b' = \frac{27018103,6}{72,1 \times 78401,05} = 107,9$$

$$K_a' = \frac{27018103,6}{107,9 \times 78401,05} = 31,94$$

Perbandingan modulus penampang balok dengan komposit :

$$m_b = \frac{(I_x : Y_b)}{(I_x' : Y_b')} = 0,89$$

$$m_a = \frac{(I_x : Y_a)}{(I_x' : Y_a')} = 0,476$$

**Tabel 5.7** Resume Analisa Penampang

Uraian	A (cm <sup>2</sup> )	y <sub>a</sub> (cm)	y <sub>b</sub> (cm)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>a</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )
Balok <i>Precast</i>	4773,75	88,86	71,14	15850408	178371	222812
Balok <i>Composite</i>	7841.05	72,1	107,9	27018104	406967	245684

### Pembebanan Balok Prategang :

#### 1. Beban Mati

Berat sendiri balok prategang ( q<sub>1</sub> ) :

$$\begin{aligned}
 q_1 &= A_c \times \gamma_{\text{beton pratekan ULS}} = 0,4774 \text{ m}^2 \times 3.12 \text{ t/m}^3 \\
 &= 1,489 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Berat plat lantai ( q<sub>2</sub> )

$$\begin{aligned}
 q_2 &= A_{\text{plat}} \times \gamma_{\text{beton bertulang ULS}} = 0,2\text{m} \times 1,85\text{m} \times 3,25 \text{ t/m}^3 \\
 &= 1,203 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Berat Pavement ( q<sub>3</sub> ) :

#### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



$$q_3 = A \times \gamma_{\text{beton aspal ULS}} = 0,05\text{m} \times 1,85\text{m} \times 2,2 \text{ t/m}^3$$

$$= 0,204 \text{ t/m}$$

Berat diafragma ( P ) :

$$P = V_{\text{diafragma}} \times \gamma_{\text{beton bertulang ULS}}$$

$$= 0,25 \text{ m} \times 1,67 \text{ m} \times 1,075 \text{ m} \times 3,25 \text{ t/m}^3$$

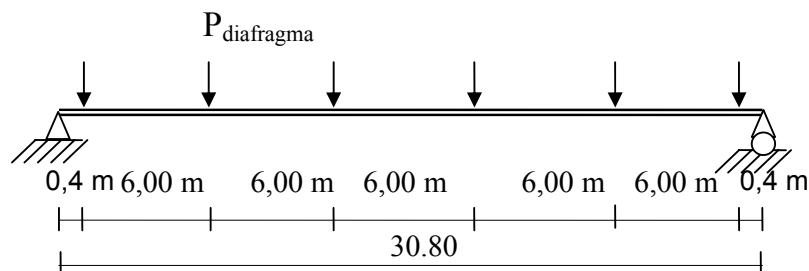
$$= 1,459 \text{ t}$$

$$\Rightarrow \text{Total beban } q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$= 1,489 \text{ t/m} + 1,203 \text{ t/m} + 0,204 \text{ t/m}$$

$$= 2,896 \text{ t/m}$$

$$\Rightarrow \text{Total beban } P = 1,459 \text{ t}$$



Direncanakan dipasang 6 buah difragma dengan jarak antar diafragma 6,00m  $\rightarrow P = 6 \times 1,459 = 8,752 \text{ Ton}$

Reaksi Perletakan :

$$V_A = V_B = (2,896 \times 30,8 + 8,752) \times 0.5 = 50,148 \text{ T}$$

Momen Maximum :

$$M_m = \left( \frac{1}{8} \times 2,896 \times 30,8^2 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 8,752 \times 30,8 \right)$$

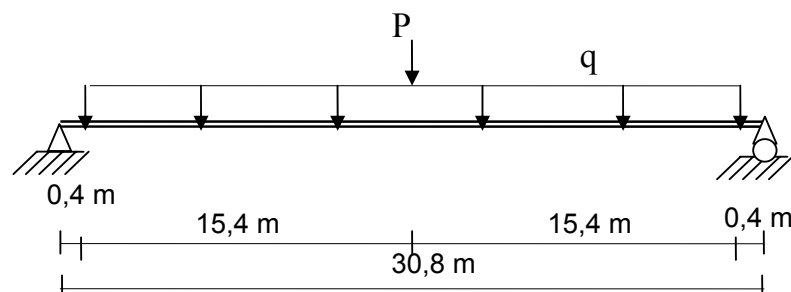
$$= 430,545 \text{ tonm}$$

## 2. Beban Hidup

$$q = 0,79 \text{ T/m}^2 \times 1,85$$

$$= 1,4615 \text{ T/m}$$

$$P = 11,396 \text{ T}$$



## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$V_A = (1,4615 \times 30,8 + 11,396) \times 0,5 = 28,2051 \text{ T}$$

$$\begin{aligned} M_h &= \left( \frac{1}{8} \times 1,4615 \times 30,8^2 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 11,396 \times 30,8 \right) \\ &= 261,05 \text{ tonm} \end{aligned}$$

**Momen Total :**

$$\begin{aligned} M_T &= M_m + M_h \\ &= 430,545 + 261,05 \\ &= 691,595 \text{ tonm} \end{aligned}$$

$M_P$  = momen pada prategang akibat berat sendiri balok, plat dan balok diafragma sebelum komposit berfungsi (tanpa beban aspal dan beban hidup).

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{1}{8} (1,489 + 1,203) 30,8^2 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 8,752 \times 30,8 \right) \\ &= 346,278 \text{ tonm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_c &= \text{Momen penampang komposit} \\ &= M_T - M_P \\ &= 691,595 - 346,278 \\ &= 345,317 \text{ tonm} \end{aligned}$$

**Perhitungan Gaya Prategang :****Spesifikasi beton prategang ( K-500 )**

$f'_c$  = tegangan umur 28 hari = 50 Mpa

$f'_{ci}$  = tegangan beton saat transfer (umur 14 hari)  
 $= 0,9 \times 50 \text{ Mpa} = 45 \text{ Mpa}$

**Kondisi awal** (setelah transfer tegangan, sebelum kehilangan tegangan)

$f_{ti}$  = - 3,35 Mpa

$f_{ci}$  = 27 Mpa

**Kondisi Akhir** (pada saat beban mulai bekerja)

$f_t$  = - 3,54 Mpa

$f_c$  = 22,5 Mpa

**1. Perkiraan Awal Gaya Prategang**

$$F = \frac{M_T}{0,65h} = \frac{691,595}{0,65 \times 1,6} = 664,995 \text{ ton}$$

Kehilangan tegangan rata-rata untuk sistem *post tensioning* adalah 20%

$$\rightarrow F_o = \frac{F}{0,8} = \frac{664,995}{0,8} = 831,244 \text{ ton}$$

**Laporan Tugas Akhir**

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
 di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

## 2. Mencari letak eksentrisitas (CGS)

$$e_1 = \frac{f_{ti} \times I_x}{Y_{Ax} F_o} = \frac{33,5 \times 15850,408}{88,86 \times 831,244} = 7,189 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{M_G}{F_o} = \frac{176,56}{831,244} \rightarrow M_G = 1/8 \times 1,489 \times 30,80^2 = 176,56 \text{ tm}$$

$$= 0,21 \text{ m} = 21 \text{ cm}$$

$$e = e_1 + e_2 + K_b$$

$$= 7,189 + 21 + 37,365 = 65,554 \text{ cm} < Y_b = 71,138 \text{ cm}$$

Diambil eksentrisitas tendon (CGS),  $e = 66 \text{ cm}$

## 3. Perhitungan gaya prategang yang dibutuhkan

Gaya prategang efektif :

$$F = \frac{M_p + (mb \times M_c)}{e + K_A} = \frac{346,278 + (0,89 \times 345,317)}{0,66 + 0,467}$$

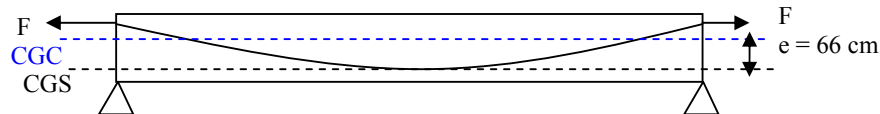
$$= 580,089 \text{ ton}$$

Gaya prategang awal :

$$F_o = \frac{580,089}{0,8} = 725,11 \text{ ton}$$

## 4. Kontrol Tegangan yang Terjadi

Akibat gaya prategang awal :



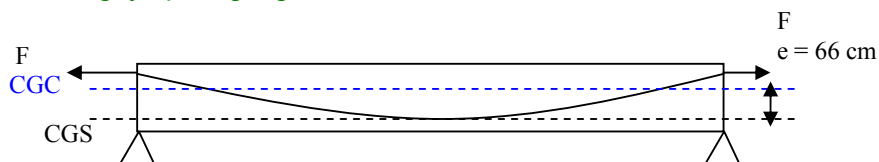
$$f_{bottom} = + \frac{F_o}{A} \left(1 + \frac{e}{K_A}\right)$$

$$= + \frac{725,11}{4773,75} \left(1 + \frac{66}{46,674}\right) = 0,366 \text{ t/cm}^2$$

$$F_{top} = + \frac{F_o}{A} \left(1 - \frac{e}{K_B}\right)$$

$$= + \frac{725,11}{4773,75} \left(1 - \frac{66}{37,365}\right) = -0,116 \text{ t/cm}^2$$

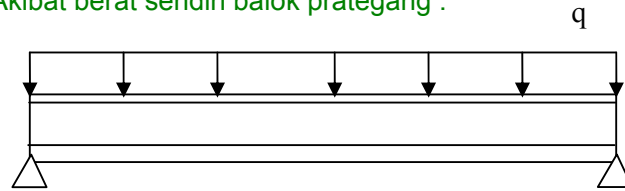
Akibat gaya prategang efektif :



$$\begin{aligned}
 f_{bottom} &= + \frac{F}{A} \left(1 + \frac{e}{K_A}\right) \\
 &= \frac{580,089}{4773,75} \left(1 + \frac{66}{46,674}\right) = 0,293 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{top} &= + \frac{F}{A} \left(1 - \frac{e}{K_B}\right) \\
 &= \frac{580,089}{4773,75} \left(1 - \frac{66}{37,365}\right) = - 0,093 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

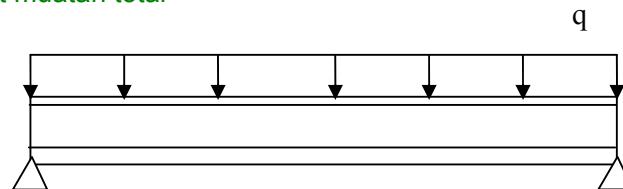
Akibat berat sendiri balok prategang :



$$\begin{aligned}
 f_{bottom} &= - \frac{M_G}{A \times K_A} = - \frac{17656}{4773,75 \times 46,674} \\
 &= - 0,079 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{top} &= + \frac{M_G}{A \times K_B} = + \frac{17656}{4773,75 \times 37,365} \\
 &= 0,104 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

Akibat muatan total



$$\begin{aligned}
 f_{bottom} &= - \frac{M_T}{A \times K_A} = - \frac{69159,5}{4773,75 \times 46,674} \\
 &= - 0,3103 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{top} &= + \frac{M_T}{A \times K_B} = + \frac{69159,5}{4773,75 \times 37,365} \\
 &= 0,215 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

Kombinasi tegangan :

✦ Keadaan awal (Gaya prategang awal + berat sendiri balok prategang)

$$\begin{aligned}
 \text{Serat atas (ft)} &= - 0,116 + 0,104 \\
 &= - 0,012 \text{ t/cm}^2 \\
 &= 1,2 \text{ Mpa} < - 3,35 \text{ Mpa} \dots\dots (\text{ok})
 \end{aligned}$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$\begin{aligned}
 \text{Serat bawah (fb)} &= 0.366 - 0,079 \\
 &= 0,267 \text{ t/cm}^2 \\
 &= 26,7 \text{ Mpa} < 27 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok}) \\
 \blacktriangledown \text{ Akibat gaya prategang efektif (Gaya prategang efektif + muatan total )} \\
 \text{Serat atas} &= - 0.0963 + 0.215 \\
 &= 0,2137 \text{ t/cm}^2 \\
 &= 21,37 \text{ Mpa} < 22.54 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok}) \\
 \text{Serat bawah} &= 0,293 - 0.31 \\
 &= -0,0174 \text{ t/cm}^2 \\
 &= -1,74 \text{ Mpa} < -3,54 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok})
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Kabel Prategang ( Tendon )

#### 1. Ukuran tendon

Digunakan untaian kawat/*strand* “**seven wire strand**” dengan diameter setiap *strand* 0,5”. Luas tiap *strand* 129,016 mm<sup>2</sup>, jumlah *strand* 7.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tampang} &= 903,116 \text{ mm}^2 \\
 &= 9,031 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan batas fpu} = 19000 \text{ kg/cm}^2 = 19 \text{ ton/cm}^2.$$

Gaya pra-penegangan terhadap beban

$$\begin{aligned}
 F_{pu} &= f_{pu} \times \text{luas tampang} \\
 &= 19 \times 9,031 \\
 &= 171,592 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tegangan baja prategang, tegangan ijin menurut ACI :

$$\blacktriangledown \text{ Tegangan saat transfer} : T_{at} = 0,8 T_{pu}$$

$$\blacktriangledown \text{ Tegangan saat beton bekerja} : T_{ap} = 0,7 T_{pu}$$

Jumlah tendon yang dibutuhkan :

$$F_o = 725,11 \text{ t/cm}^2$$

$$n = \frac{F_o}{0,7 \times F_{pu}} = \frac{725,11}{0,7 \times 171,592} = 4,02$$

$$\approx 4 \text{ buah}$$

#### 2. Perhitungan daerah aman tendon

Untuk daerah aman tendon ditinjau terhadap tiga kondisi :

##### 1. Kondisi saat transfer dan gaya prategang awal

Peninjauan dilakukan setiap interval 385 cm

$$a_1 = \frac{M_G}{F_0}$$

Keterangan :

$$M_G = 0.5 q L x - 0.5 q x^2 \rightarrow q = 1,489 \text{ t/m}$$

$a_1$  = Jarak titik berat tendon dibawah kern atas ( kt')

$$F_0 = 725,11 \text{ t/cm}^2$$

**Tabel 5.8.** Perencanaan daerah aman tendon saat tranfer tegangan

Titik Tinjau	Jarak Langsung (m)	Momen (Mg) kNm	Jarak (a1) (cm)	Batas Bawah (BB)
x <sub>1</sub>	0	0	0	33.773
x <sub>2</sub>	3.85	77.25	10.65	23.123
x <sub>3</sub>	7.7	132.42	18.26	15.513
x <sub>4</sub>	11.55	165.53	22.83	10.943
x <sub>5</sub>	15.4	176.57	24.35	<b>9.423</b>

## 2. Kondisi saat beton bekerja penuh

$$a_2 = \frac{M_T}{F}$$

Keterangan :

$a_2$  = Jarak titik berat tendon dibawah batas bawah kern ( kb')

$$F = 580,089 \text{ t/cm}^2$$

$$M_T = M_G + M_{\text{setelah kehilangan gaya pratekan dan lantai dicor}}$$

**Tabel 5.9.** Perencanaan daerah aman tendon saat beton bekerja penuh

Titik Tinjau	Jarak Langsung (m)	Momen (Mg) kNm	Jarak (a1) (cm)	Batas Atas (BA)
x <sub>1</sub>	0	0.00	0.00	<b>40.16</b>
x <sub>2</sub>	3.85	139.66	19.26	20.90
x <sub>3</sub>	7.7	239.41	33.02	7.14
x <sub>4</sub>	11.55	299.27	41.27	-1.11
x <sub>5</sub>	15.4	319.22	44.02	-3.86

## Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan tegangan dapat diakibatkan oleh beton maupun tendonnya (bajanya). Jenis-jenis kehilangan tegangan adalah sebagai berikut :

- 1) Akibat tegangan elastis beton
- 2) Akibat rangkai beton

## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

- 3) Akibat susut beton
- 4) Akibat relaksasi baja.

Pada perencanaan jembatan Tanggi ini perhitungan kehilangan tegangan menggunakan rumus-rumus dan ketentuan-ketentuan pada "Desain Struktur Prategang" TY LIN.

### 1. Akibat tegangan elastis beton

Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh :

$$A_s = 6 \times 903,1 = 5418,699 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 4773,75 \text{ cm}^2 = 477375 \text{ mm}^2$$

$$F_o = 725,11 \text{ ton} = 7251100 \text{ N}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 3,64 \cdot 10^4 \text{ Mpa}$$

$$I_c = 2,7 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$e = 660 \text{ mm}$$

$$M_G = 176,56 \text{ tm} = 1,77 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 5,49$$

$$F_{po} = \frac{F_o}{A_s} = \frac{725110}{5418,7} = 133,816 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} F_{cs} &= \frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \cdot e^2}{I} - \frac{M_G \cdot e}{I} \\ &= \frac{725110}{4773,75} + \frac{725110 \cdot 66^2}{15850408,17} - \frac{17700000 \cdot 66}{1585048,17} \\ &= 151,895 + 199,274 - 73,702 \\ &= 277,467 \text{ kg/cm}^2 = 27,747 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka :

$$\Delta f_{pES} = 5,490 \times 277,467 = 1523,29 \text{ kg/cm}^2$$

Pengurangan nilai  $P_i$  digunakan reduksi 10 %, maka :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} &= 0,9 \times 1523,29 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1370,961 \text{ kg/cm}^2 = 137,096 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Karena ada 6 buah tendon

$$\begin{aligned} E_S &= 0,5 \times 137,096 \text{ MPa} \\ &= 68,548 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

### 2. Akibat rangkai beton ( Creep Losses )

$$\Delta f_{pCR} = K_{cr} \frac{E_{ps}}{E_c} (f_{cs} - f_{csd})$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$K_{cr}$  = untuk struktur pasca tarik, koefisien rangkan beton 1,6

$$f_{csd} = \frac{M_p * e}{I} = \frac{3,46.10^7 \times 66}{15850408,17} = 144,072 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 14,407 \text{ MPa}$$

$$f_{cs} = 27,747 \text{ MPa}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \Delta f_{pCR} &= K_{cr} * n * (f_{cs} - f_{csd}) \\ &= 1,6 \times 5,49 \times (27,747 - 14,407) \\ &= 117,179 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### 3. Akibat susut beton ( *Shrinkage* )

$$\Delta f_{pSH} = \epsilon_{SH} \times E_{ps}$$

Dimana :

$$\epsilon_{SH} = 0,0005$$

= jumlah tegangan susut sisa yang mengurangi besar 0,0005 setelah umur beton 28 hari baru dilaksanakan kabel, pada saat tersebut susut beton mencapai 40%

$$E_{ps} = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

Maka,

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH} &= 0,0005 \times 2.000.000 \times 40\% \\ &= 400 \text{ kg / cm}^2 \\ &= 40 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

### 4. Akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \times \frac{\log t}{10} \left( \frac{f'_{pi}}{f_{pu}} - 0.55 \right)$$

$$\begin{aligned} f_{pi} &= 0.75 \times f_{pu} \\ &= 0.75 \times 19.000 \\ &= 14250 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

Pengurangan gaya akibat relaksasi adalah 17%

$$\begin{aligned} f'_{pi} &= (1 - 0.17) \times 14250 \\ &= 11827.5 \text{ kg / cm}^2 = 1182.75 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Waktu durasi pada saat relaksasi diambil selama 5 tahun

$$\begin{aligned} t &= 5 \times 365 \times 24 \\ &= 43800 \text{ jam} \end{aligned}$$

Maka,

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



$$\begin{aligned}\Delta f_{pR} &= 14250 \frac{\log 43800}{10} \left( \frac{1182.75}{19000} - 0.55 \right) \\ &= 479.727 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 47.973 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

**Kehilangan Gaya Prategang Total :**

Dari hasil perhitungan 4 macam kehilangan gaya prategang yang terjadi pada beton dan baja, maka diperoleh kehilangan gaya prategang total sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Kehilangan Total} &= ES + CR + SH + RE \\ &= 68,548 \text{ MPa} + 117,179 \text{ MPa} + 40 \text{ Mpa} + 47.973 \text{ MPa} \\ &= 273.7 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

**Perencanaan Tulangan Balok Prategang****1. Perhitungan tulangan utama**

Penulangan Balok prategang didasarkan atas pengangkutan 2 titik.

$$\begin{aligned}M_u &= 0.5 q (0,209.L)^2 \\ &= 0.5 \cdot 1.489 (0,209 \cdot 30.8)^2 \\ &= 3.085 \times 10^6 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan pokok D20 dan sengkang D10.

$$\begin{aligned}d &= h - p - \varnothing \text{sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{tul. pokok} \\ &= 1600 - 40 - 10 - (0,5 \times 20) \\ &= 1540 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{3.085 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1540^2} = 0,0055 \text{ Mpa}$$

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = 0,8 \rho f_y \left( 1 - 0,0588 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$0,0055 = 0,8 \rho \cdot 320 \left( 1 - 0,0588 \rho \frac{320}{60} \right)$$

$$\rho = 0,00003$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$\rho_{\min} > \rho$  maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0044$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b d \\ &= 0,0044 \cdot 100 \cdot 1540 \\ &= 6737,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

**Maka digunakan tulangan 22 D 20 ( $A_s = 6908 \text{ mm}^2$ )**

**Laporan Tugas Akhir**

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

## 2. Perhitungan tulangan geser balok prategang

### Gaya lintang akibat beban mati ( $V_D$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Akibat gelagar} &= 0,5 q L = 0,5 * 1489 * 30,8 = 22930,60 \text{ kg} \\
 \text{Akibat diafragma} &= 0,5 P = 0,5 * 8752 = 4376 \text{ kg} \\
 \text{Akibat plat lantai} &= 0,5 q L = 0,5 * 1203 * 30,8 = 18526,2 \text{ kg} \\
 V_D &= 45832,8 \text{ kg} \\
 &= 458328 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### Gaya lintang akibat beban hidup ( $V_L$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Akibat beban D} &= 0,5 P = 0,5 * 11396 = 5698 \text{ kg} \\
 \text{Akibat angin} &= 0,5 q L = 0,5 * 194 * 30,8 = 2987,6 \text{ kg} \\
 V_L &= 8685,6 \text{ kg} \\
 &= 86856 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= V_D + V_L \\
 &= 458328 \text{ N} + 86856 \text{ N} \\
 &= 545184 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \text{Tinggi efektif balok} \\
 &= 1700 - 40 \\
 &= 1660 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$V_c$  = gaya lintang yang ditahan oleh beton

Untuk perhitungan  $V_c$  ini, harus dilihat dari dua hal yaitu retak akibat geseran pada badan penampang ( $V_{cw}$ ) dan retak miring akibat lentur ( $V_{ci}$ ). Nantinya nilai  $V_c$  adalah nilai terkecil dari  $V_{cw}$  dan  $V_{ci}$ .

### Retak akibat geseran pada badan penampang

$$V_{cw} = (0,29 * \sqrt{f'_c} + 0,3 * f_{pc}) * b_w * d + V_p$$

$V_p$  = komponen vertikal dari gaya prategang

$$V_p = F_o * \tan \alpha$$

$$= 725110 * \frac{52}{15400}$$

$$= 2448,42 \text{ N}$$

$$B_w = 18 \text{ cm} = 180 \text{ mm}$$

$$F_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{580,890}{4773,75}$$

$$= 0,122 \text{ T/cm}^2 = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{cw} = (0,29 * \sqrt{f'_c} + 0,3 * f_{pc}) * b_w * d + V_p$$

$$= (0,29 * \sqrt{50} + 0,3 * 12,2) * 180 * 1660 + 2448,42$$

## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$= 1605987,614 \text{ N}$$

### Retak miring akibat lentur ( $V_{ci}$ )

$$V_{ci} = 0,05 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'_c} + \frac{V_t \cdot M_{cr}}{M_{\max}}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{I_c'}{Y_t'} \cdot (0,5 \cdot \sqrt{f'_c} + f_{pc}) \\ &= \frac{2,7 \cdot 10^{11}}{72,1} \cdot (0,5 \cdot \sqrt{50} + 12,2) \\ &= 58,9 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menurut buku "Struktur Beton Pratekan Ir. Han Aylie" tegangan terbesar terdapat pada 0.25 L dari tumpuan.

$$\begin{aligned} x &= 0,25 \cdot 30,8 \\ &= 7,7 \text{ m} = 770 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_{\max}}{V_t} &= \frac{L \cdot x - x^2}{L - 2 \cdot x} \\ &= \frac{3080 \cdot 770 - 770^2}{3080 - 2 \cdot 770} = 1155 \text{ cm} = 11550 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \cdot 180 \cdot 1560 \cdot \sqrt{50} + \frac{58,9 \cdot 10^8}{11550} \\ &= 609234,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi dipakai  $V_c = V_{ci} = 609234,5 \text{ N}$

$$\Phi V_s = V_u - \Phi V_c$$

$$\Phi = \text{vaktor reduksi kekuatan} = 0,6$$

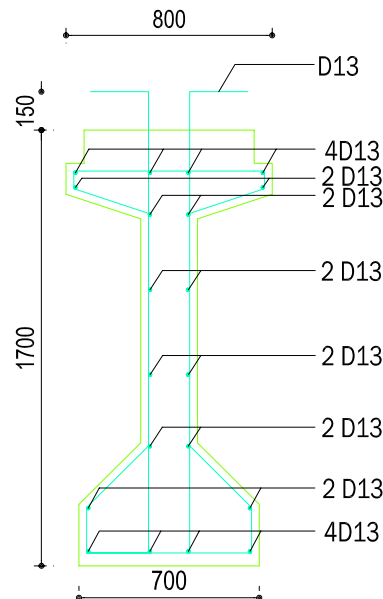
$$0,6 V_s = 545184 - 0,6 \cdot 609234,5$$

$$V_s = 299405,5 \text{ N}$$

Tulangan rencana sengkang D10 ( $A_s = 157 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{157 \cdot 320 \cdot 1660}{299405,5} = 261,76 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan sengkang D 10-300 mm.



Gambar 5.17. Tulangan Balok Prategang

**End Block**

Akibat *stressing* maka pada ujung balok terjadi tegangan yang besar dan untuk mendistribusikan gaya prategang tersebut pada seluruh penampang balok, maka perlu suatu bagian ujung block (*end block*) yang panjangnya maksimal sama dengan tinggi balok dengan seluruhnya merata selebar *flens* balok. Pada bagian *end block* tersebut terdapat dua macam tegangan yang berupa :

1. Tegangan tarik yang disebut *Bursting Zone* terdapat pada pusat penampang di sepanjang garis beban.
2. Tegangan tarik yang tinggi yang terdapat pada permukaan ujung *end block*, yang disebut *Spalling Zone* (daerah yang terkelupas).

Untuk menahan tegangan tarik di daerah *Bursting Zone* digunakan sengkang atau tulangan spiral longitudinal. Sedangkan untuk tegangan tarik di daerah *spalling Zone* digunakan *Wiremesh* atau tulangan biasa yang dianyam agar tidak terjadi retakan. Perhitungan besarnya gaya yang bekerja pada *end block* adalah berupa pendekatan.

Panjang *end block* < h

Diambil panjang *end block* = 1000 mm

Gaya yang terjadi pada *end block* dicari dengan rumus sebagai berikut :

Angkur tunggal :

$$T_o = 0,04 \cdot F + 0,20 \cdot \left[ \frac{(b_2 - b_1)}{(b_2 + b_1)} \right]^3 \cdot F$$

**Laporan Tugas Akhir**

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Angkur majemuk :

$$T_o = 0,20 * \left[ \frac{(b_2 - b_1)}{(b_2 + b_1)} \right]^3 * F$$

$$T_s = \frac{F}{3} * (1 - \gamma)$$

Dimana :  $T_o$  = gaya pada *Spalling Zone*  
 $T_s$  = gaya pada *Bursting Zone*  
 $F$  = gaya prategang efektif  
 $b_1, b_2$  = bagian-bagian dari prisma

### 1. Perhitungan Tulangan pada daerah *spalling zone*

#### Prisma 1

$$F_1 = \frac{580089}{4} = 145.022 \text{ ton}$$

$$b_1 = 25 \text{ cm}$$

$$b_2 = 11 \text{ cm}$$

#### Prisma 2

$$F_2 = \frac{580089}{4} = 145.022 \text{ ton}$$

$$b_1 = 11 \text{ cm}$$

$$b_2 = 27,5 \text{ cm}$$

#### Prisma 3

$$F_3 = \frac{580089}{4} = 145.022 \text{ ton}$$

$$b_1 = 27,5 \text{ cm}$$

$$b_2 = 11 \text{ cm}$$

#### Prisma 4

$$F_4 = \frac{580089}{4} = 145.022 \text{ ton}$$

$$b_1 = 11 \text{ cm}$$

$$b_2 = 25 \text{ cm}$$

Perhitungan tegangan yang terjadi pada permukaan *End Block* dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 5.11.** Perhitungan tegangan pada permukaan *end block*.

Prisma	Jarak dari angkur		F ton	surface force	
	$b_1$	$b_2$		0,04 F	$0.2 * \left[ \frac{(b_2 - b_1)}{(b_2 + b_1)} \right]^3 * F$
1	25	11	145.022	5.801	-1.70585
2	11	27.5	145.022	5.801	2.283145
3	27.5	11	145.022	5.801	-2.28315
4	11	25	145.022	5.801	1.705849

Dari tabel diatas didapatkan :

$$To_{1 \max} = To_{2 \max} = 5.801 \text{ ton}$$

$To_{1 \max}$  ditahan oleh *Net Reinforcement* yang ditempatkan di belakang plat pembagi. Digunakan tulangan dengan  $f_y = 320 \text{ Mpa}$

$$As = \frac{58010}{320} = 181.281 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 6 D 13.

$To_{2 \max}$  ditempatkan di belakang dinding *end block* dan digunakan tulangan 7 D 13.

## 2. Perhitungan Tulangan pada daerah *bursting zone*

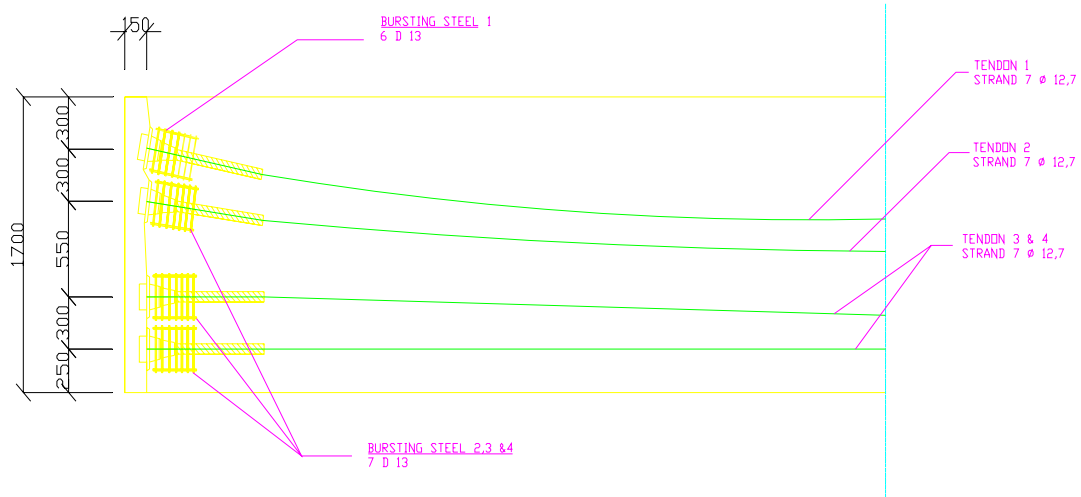
Bearing angkur yang digunakan mempunyai ukuran  $10\frac{1}{2}" \times 10\frac{1}{2}"$  ( 26.7 cm x 26.7 cm ).

**Tabel 5.12.** Perhitungan Tulangan pada daerah *bursting zone*

No	Uraian	Bursting Area				
		prisma 1	prisma 2	prisma 3	prisma 4	Sat
1	Gaya Prategang ( F )	145.022	145.022	145.022	145.022	ton
2	Sisi Prisma ( $b = b_1 + b_2$ )	36	38.5	23	23	m
3	Lebar bearing ( 2b )	0.267	0.267	0.267	0.267	m
4	gamma	0.007	0.007	0.012	0.012	
5	<i>Bursting force</i>	47.982	48.005	47.779	47.779	ton
6	Koefisien reduksi	1	1	1	1	
7	Angku miring $Ts' = 1.1 \times Ts$	52.780	52.806	52.557	52.557	ton
8	$F_y$	320	320	320	320	Mpa
9	$As = Ts' / f_y$	0.165	0.165	0.164	0.164	
10	Tulangan terpasang	4	4	4	4	
11	Luas tulangan terpasang	200.960	200.960	200.960	200.960	mm <sup>2</sup>

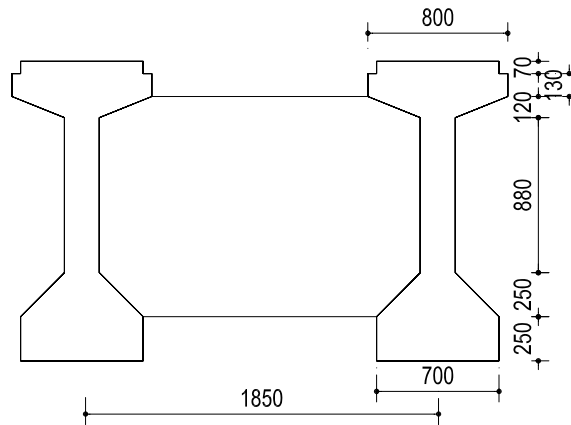
## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



Gambar 5.18. Penulangan daerah *spalling zone* dan *bursting zone*

#### 5.3.1.4. Balok Diafragma



Gambar 5.19. Dimensi balok diafragma

#### 1. Perhitungan Balok diafragma

Dimensi : h = 88 cm

P = 185 cm

L = 25 cm

$$I_x = \frac{1}{12} * 250 * 880^3$$

$$= 1,419 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$K_t - K_b = \frac{I_x}{A * C_b} = \frac{1,419 * 10^{10}}{88 * 250 * 880 / 2} = 146,5 \text{ mm}$$

#### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

## 2. Pembebanan diafragma

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri} &= 0,25 \times 0,88 \times 3,25 \\ &= 0,715 \text{ T/m}^2 \\ &= 7,15 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen yang terjadi} &= \frac{1}{12} * q * L^2 \\ &= 2039239,58 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya lintang} &= 0.5 * q * L \\ &= 0.5 * 7,15 * 1850 = 6613,75 \text{ N}\end{aligned}$$

## 3. Perhitungan momen kritis balok diafragma

Perhitungan meomen kritis balok diafragma dihitung terhadap terjadinya keadaan yang paling ekstrim, yaitu pada kondisi di mana salah satu lajurnya terdapat beban kendaraan yang maksimum sedangkan lajur yang lain tanpa beban kendaraan. Pada diafragma tengah dikuatirkan akan pecah akibat momen yang terjadi, yang diakibatkan oleh perbedaan deformasi pada gelagar yang saling berdekatan.

Diketahui :

$$\text{Tinggi balok (h)} = 880 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 35 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal balok (t)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{1}{300} 880 = 2,933 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{35} = 2,78 \cdot 10^4 \text{ Mpa}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{M * L^2}{6 * E_c * I}$$

$$\begin{aligned}M &= \frac{6 * E_c * I}{L^2} * \Delta_{\text{maks}} = \frac{6 * 2,78 * 10^4 * 1,419 * 10^{10}}{1850^2} * 2,933 \\ &= 6,9 * 10^8 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

## 3. Tegangan izin Balok Diafragma

$$F'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$F'_{ci} = 0,9 * 35 = 31,5 \text{ Mpa}$$

### 1. Kondisi awal (sesudah transfer tegangan)

$$\sigma_A = -f_{ti}$$

## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



$$\begin{aligned}
 &= - (0,5 \sqrt{f_{ci}}) \\
 &= 0,5 * \sqrt{31,5} \\
 &= 2,806 \text{ Mpa} = 28,06 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_B &= -0,6 * f_{ci} \\
 &= -0,6 * 31,5 \\
 &= -18,9 \text{ Mpa} = 189 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

## 2. Kondisi Akhir pada saat beban mulai bekerja

$$\begin{aligned}
 \sigma_B &= -0,45 * 35 \\
 &= -15,75 \text{ Mpa} = -157,5 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_A &= -f_t \\
 &= - ( - 0,5 \sqrt{f'_c} ) \\
 &= 0,5 \sqrt{35} \\
 &= 2,958 \text{ Mpa} = 29,58 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

## 4. Perhitungan gaya pratekan yang dibutuhkan

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6,9 * 10^8}{\frac{1}{6} * 250 * 880^2} = 21,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P &= \sigma * A \\
 &= 21,38 * 250 * 880 = 4686000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan dua buah tendon sehingga gaya prategang efektifnya menjadi :

$$\begin{aligned}
 P &= 2 * F \\
 4686000 &= 2 * F \\
 F &= 2343000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

## 5. Perhitungan gaya prategang awal

$$F_o = \frac{F_o}{0,8} = \frac{2343000}{0,8} = 2928750 \text{ N}$$

## Kontrol Tegangan

### 1. Akibat momen kritis

$$f_{bottom} = \frac{M_T}{A * K_A} = \frac{2039239,58}{250 * 880 * 146,5}$$

## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$= 0,063 \text{ Mpa}$$

$$f_{top} = - \frac{M_T}{A \times K_B} = - \frac{2039239,58}{250 \times 880 \times 146,5}$$

$$= - 0,063 \text{ Mpa}$$

2. Akibat gaya prategang awal

$$f_{bottom} = - \frac{F_o}{A} = - \frac{2928750}{250 \times 880}$$

$$= - 2,31 \text{ Mpa}$$

$$f_{top} = - \frac{F_o}{A} = - \frac{2928750}{250 \times 880}$$

$$= - 2,31 \text{ Mpa}$$

3. Akibat gaya prategang efektif

$$f_{bottom} = - \frac{F}{A} = - \frac{2343000}{250 \times 880}$$

$$= - 2,65 \text{ Mpa}$$

$$f_{top} = - \frac{F}{A} = - \frac{2343000}{250 \times 880}$$

$$= - 2,65 \text{ Mpa}$$

6. Kombinasi Tegangan

Keadaan awal (a + b)

$$\begin{aligned} \text{Serat atas (ft)} &= - 0,063 - 2,31 \\ &= - 2,373 \text{ Mpa} < - 18,9 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah (fb)} &= 0,063 - 13,31 \\ &= - 2,247 \text{ Mpa} < 2,806 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok}) \end{aligned}$$

Akibat gaya pratekan efektif (a + c)

$$\begin{aligned} \text{Serat atas} &= - 0,063 - 2,65 \\ &= - 2,713 \text{ Mpa} < -15,75 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah} &= 0,063 - 2,65 \\ &= -2,587 \text{ Mpa} < 2,958 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(\text{ok}) \end{aligned}$$

8. Perhitungan tendon balok diafragma

Digunakan untai kawat/*strand* "seven wire strand" dengan diameter setiap *strand* 0,5". Luas tiap *strand* 129,016 mm<sup>2</sup>, jumlah *strand* 7.

$$\begin{aligned} \text{Luas tampang} &= 903,116 \text{ mm}^2 \\ &= 9,031 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan batas Tpu} = 19000 \text{ kg/cm}^2 = 19 \text{ ton/cm}^2.$$

Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Gaya prapenegangan terhadap beban

$$\begin{aligned} F_{pu} &= T_{pu} \times \text{luas tampang} \\ &= 19 \times 9,031 \\ &= 171,592 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tegangan baja prategang, tegangan ijin menurut ACI :

$$1. \text{ Tegangan saat transfer} : T_{at} = 0,8 T_{pu}$$

$$2. \text{ Tegangan saat beton bekerja} : T_{ap} = 0,7 T_{pu}$$

Jumlah tendon yang dibutuhkan :

$$F = 2343000 \text{ N} = 234,3 \text{ t}$$

$$F_o = 2928750 \text{ N} = 292,8 \text{ t}$$

$$n = \frac{F_o}{0,7 \times F_{pu}} = \frac{292,8}{0,7 \times 171,592} = 1,99 \approx 2$$

#### 9. Perhitungan tulangan balok diafragma

Perhitungan tulangan balok diafragma dihitung terhadap terjadinya keadaan yang paling ekstrim, yaitu pada kondisi di mana salah satu lajurnya terdapat beban kendaraan yang maksimum sedangkan lajur yang lain tanpa beban kendaraan. Pada diafragma tengah dikuatkan akan pecah akibat momen yang terjadi, yang diakibatkan oleh perbedaan deformasi pada gelagar yang saling berdekatan.

Diketahui :

$$\text{Tinggi balok (h)} = 880 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 35 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal balok (t)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\Delta_{maks} = \frac{1}{300} \times 880 = 2,933 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{M}{0,8} \\ &= \frac{6,9 \times 10^8}{0,8} \\ &= 8,625 \times 10^8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan pokok D13 dan sengkang D8.

$$\begin{aligned} d &= h - p - D_{sengkang} - 0,5 D_{tul. pokok} \\ &= 880 - 40 - 8 - 0,5 \times 13 \\ &= 825,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2} = \frac{8,625 * 10^8}{250 * 825,5^2} = 5,062 \text{ Mpa}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2} = 0,8 \rho f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f'_c}\right)$$

$$5,062 = 0,8 \rho 320 \left(1 - 0,588 \rho \frac{320}{35}\right)$$

$$\rho = 0,006$$

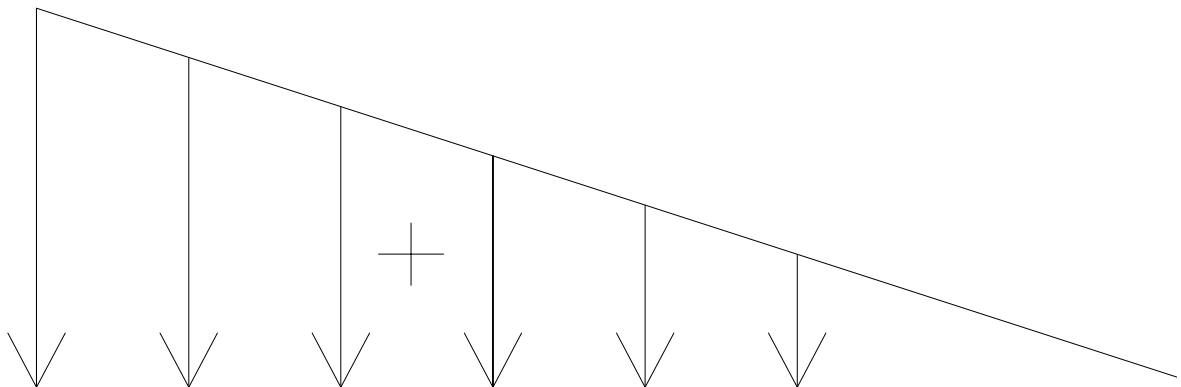
$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$\rho > \rho_{min}$  maka dipakai  $\rho_{min} = 0,006$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,006 * 250 * 825,5 = 1238,25 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan pokok 10 D 13 ( $A_s = 1327,32 \text{ mm}^2$ )

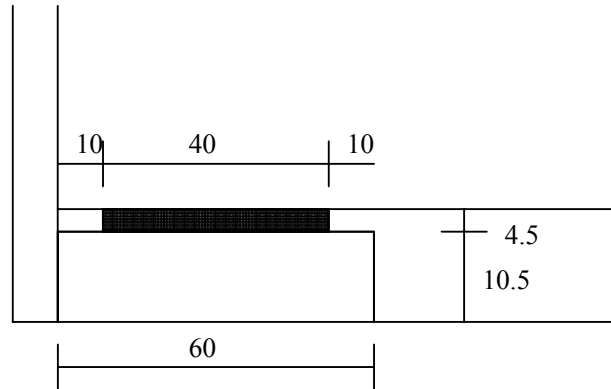


**Gambar 5.20.** Layout Tendon Diafragma

#### 5.3.1.5. *Bearing Pad ( Elastomer )*

Perletakan direncanakan menggunakan elastomer dengan dimensi yang dipesan sesuai permintaan.

Dimensi rencana ( 40 x 45 x 4.5 ) cm.



Gambar 5.21. Bearing Pad

Digunakan :

CPU *Elastomeric Bearing* tebal 45 mm isi 3 plat baja 3 mm

Kuat tekan = 56 kg/cm<sup>2</sup>

Kuat geser = 35 kg/cm<sup>2</sup>

CPU *Bearing Pad / strip* tebal 20 mm

Kuat geser = 2.11 kg/cm<sup>2</sup>

Beban yang bekerja :

$$\begin{aligned} V_{\max} &= D \text{ Total} \\ &= 679.38 \text{ kN} \\ &= 67938 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban Horizontal

$$\begin{aligned} H_{\max} &= 25.27 \text{ kN} \\ &= 2527 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap beban vertikal :

$$\begin{aligned} f &= \frac{V_{\max}}{A} \\ &= \frac{67938}{45 \times 40} \\ &= 37.743 \text{ kg/cm}^2 \leq 56 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap geser :

$$\begin{aligned} f &= \frac{H_{\max}}{A} \\ &= \frac{2527}{45 \times 40} \\ &= 1.404 \text{ kg/cm}^2 \leq 35 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap CPU *Bearing Pad / strip* :

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{5\% * H_{\max}}{A} \\
 &= \frac{5\% * 2527}{45 * 40} \\
 &= 0.070 \text{ kg/cm}^2 \leq 2.11 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

#### 5.3.1.5. Shear Connector

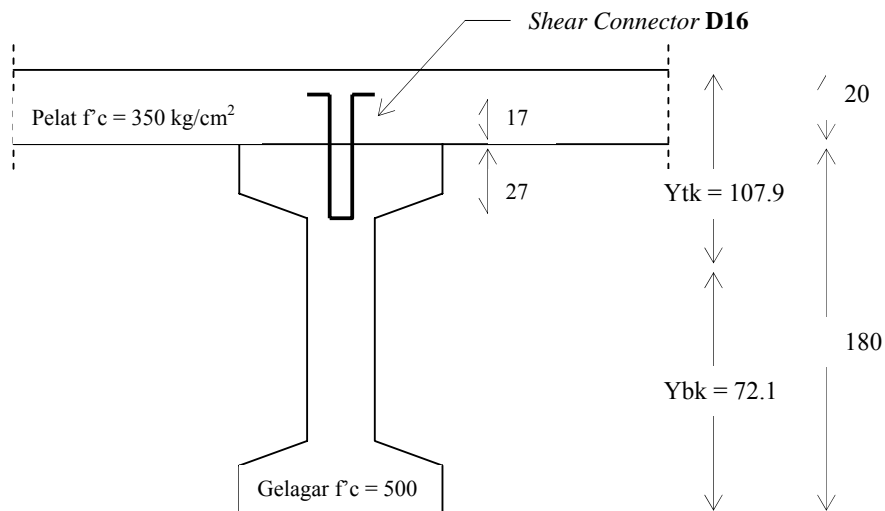
Karena hubungan antara lantai jembatan dengan gelagar beton ptegang merupakan hubungan komposit, dimana dalam hubungan ini, lantai dengan gelagar beton tidak dicor dalam satu kesatuan, maka perlu diberi penahan geser agar hubungan antara lantai dengan gelagar beton dapat bekerja secara bersamaan dalam menahan beban.

Direncanakan :

Diameter angkur : 2D16 ( 2 kaki )

Tinggi angker masuk ke pelat :  $H_{SC-P} = 17 \text{ cm}$

Tinggi angker masuk ke gelagar :  $H_{SC-G} = 27 \text{ cm}$



Gambar 5.24. Shear Connector

#### 1. Menghitung kekuatan angkur

Kekuatan  $q$  buah *stud shear connector* (Bina Marga) :

$$\frac{H}{d} \geq 5.5 \rightarrow Q = 55 * d^2 * \sqrt{f'c}$$

$$\frac{H}{d} < 5.5 \rightarrow Q = 10 * d^2 * \sqrt{f'c}$$

15,4 m

Angkur yang masuk ke plat :

#### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$\frac{17}{1.6} = 10,63 \geq 5,5 \rightarrow Q = 55 * 1,6^2 * \sqrt{350} = 2634,13 \text{ kg}$$

$$\text{Dipakai 2 kaki} \rightarrow Q = 5268,25 \text{ kg}$$

Angkur yang masuk ke gelagar :

$$\frac{27}{1.6} = 16,88 \geq 5,5 \quad Q = 55 * 1,6^2 * \sqrt{500} = 3148,38 \text{ kg}$$

$$\text{Dipakai 2 kaki} \rightarrow Q = 6296,76 \text{ kg}$$

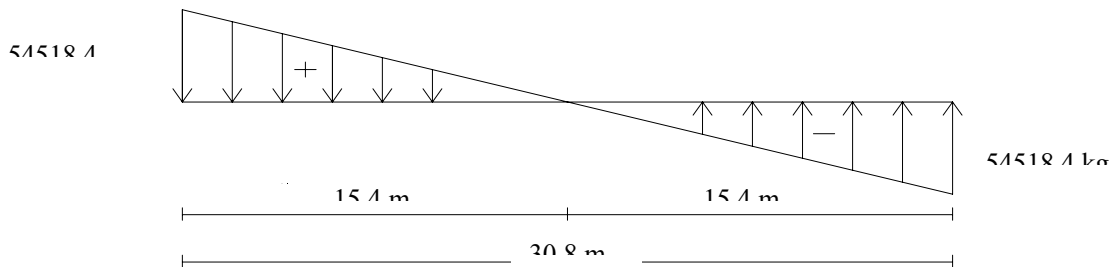
## 2. Menghitung jarak dan jumlah angkur

$$\text{Jarak angkur} : s = \frac{Q}{q}$$

Kekuatan *shear connector* per panjang 1 m (*longitudinal shear connector*) :

$$q = \frac{D_x * S_{x_p}}{I_x}$$

Besar Gaya Lintang ( $D_x$ ) pada jarak tinjauan :



$$\text{Untuk } L = 3,85 \text{ m} \quad D = 27259,2 \text{ kg} = 27259 \text{ ton}$$

$$\text{Untuk } L = 7,7 \text{ m} \quad D = 13629,6 \text{ kg} = 13629 \text{ ton}$$

Statis Momen bagian pelat :

$$\begin{aligned} S_{x_{\text{pelat}}} &= A_p * (Y_{t_k} - \frac{1}{2} * h_p) \\ &= 153.55 * 20 * (107,9 - \frac{1}{2} * 20) \\ &= 300650.9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen Inersia komposit :

$$I_{x_k} = 27018103,6 \text{ cm}^4$$

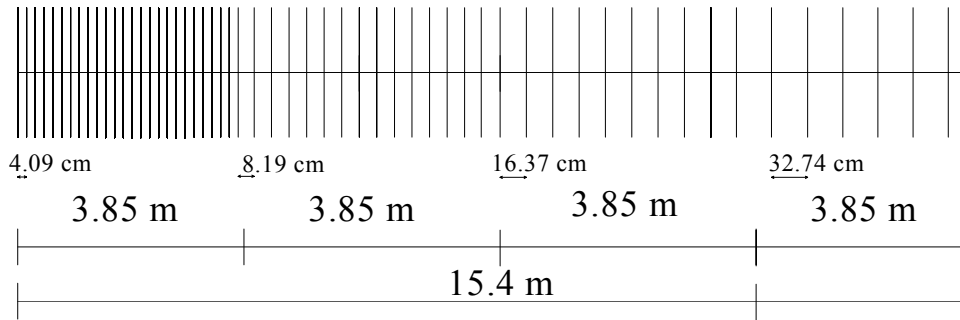
Jarak *shear connector* tiap bagian setengah bentang dihitung dalam tabel berikut :

**Tabel 5. 13.** Jarak *shear connector* tiap bagian setengah bentang

Jarak (m)	$D_x$ (kg)	$S_x$ (cm <sup>3</sup> )	$I_{x_k}$ (cm <sup>4</sup> )	$Q$ (kg)	$q$ (kg/cm)	$S$ (Q/q) (cm)
0	54518.4	762363.8	27018103.6	6296.76	1538.33	4.09
3.85	27259.2	762363.8	27018103.6	6296.76	769.17	8.19
7.7	13629.6	762363.8	27018103.6	6296.76	384.58	16.37

## Laporan Tugas Akhir

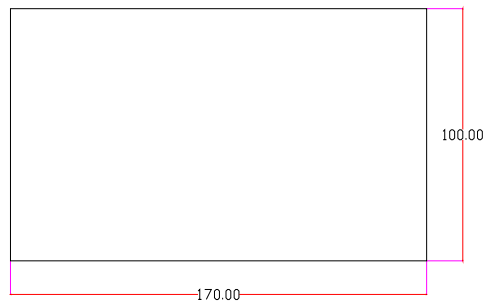
Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



**Gambar 5.25.** Penempatan Shear Connector

### 5.3.1.7. Deck Slab

Direncanakan :



Menggunakan beton K-225

$L = 100 \text{ cm}$

$P = 170 \text{ cm}$

$t = 7 \text{ cm}$

Pembebanan :

a. Plat lantai kendaraan :  $0,2 \times 1,7 \times 3,25 = 1,17 \text{ T/m}$

b. Lapisan Aspal :  $0,05 \times 1,7 \times 2,2 = 0,198 \text{ T/m}$

c. Berat sendiri :  $0,07 \times 1,7 \times 3,25 = 0,4095 \text{ T/m}$

$q_{\text{tot}} = 1,7775 \text{ T/m}$

$$M = \frac{1}{8} q_{\text{tot}} L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 1,775 \times 1^2$$

$$= 0,222 \text{ Tm} = 222 \text{ kgm} = 2220000 \text{ Nmm}$$

$$I = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 1700 \times 70^3 = 735 \text{ 000 mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{22,5} = 2,23 \cdot 10^4 \text{ Mpa}$$

Lendutan maksimum

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{1}{300} L = \frac{1}{300} 1700 = 5,667 \text{ mm}$$

### Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000



$$\Delta = \frac{M * L^2}{6 * E_c * I}$$

$$= \frac{2,2 * 10^6 * 1700^2}{6 * 2,23 * 10^4 * 735000} = 2,257 \text{ mm} > 5,667 \text{ mm} \dots \text{ok}$$

$$Mu = \frac{M}{0,8}$$

$$= \frac{2,22 * 10^6}{0,8}$$

$$= 2,75 * 10^6 \text{ Nmm}$$

Direncanakan tulangan pokok D13

$$d = h - p - 0,5 D \text{ tul. pokok}$$

$$= 70 - 40 - 6,5$$

$$= 23,5 \text{ mm}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2} = \frac{2,75 * 10^6}{1000 * 23,5^2} = 4,979 \text{ Mpa}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2} = 0,8 \rho f_y \left(1 - 0,0588 \rho \frac{f_y}{f'_c}\right)$$

$$4,979 = 0,8 \rho 320 \left(1 - 0,0588 \rho \frac{320}{22,5}\right)$$

$$214,08 \rho^2 - 256 \rho + 4,979 = 0$$

$$\rho = (256 + 247,532) : 2 * 214,08 = 0,0019$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$\rho_{min} > \rho$  maka dipakai  $\rho_{min} = 0,0044$

$$As = \rho b d$$

$$= 0,0044 * 1000 * 23,5$$

$$= 103,4 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan **tulangan pokok 6 D 13 ( $As = 796 \text{ mm}^2$ )**

### 5.3.2. Perhitungan Struktur Bawah

#### 5.3.2.1. Perancangan *Abutment*

Data-data yang dipakai dalam perencanaan struktur bangunan bawah antara lain :

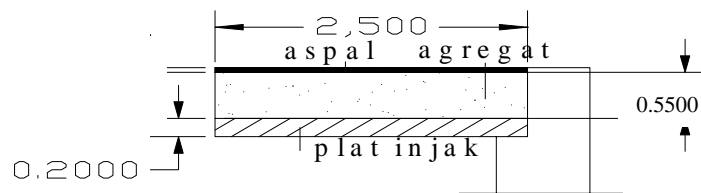
##### Data Tanah

Dari data hasil penyelidikan tanah, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Dari hasil ke-2 titik sondir S.1 dan S.2 menunjukkan ketidaksamaan dimana untuk sondir 1 ( S.1 ) lapisan tanah keras terdapat pada kedalaman -3,60 meter dari bahu jalan dan untuk sondir 2 ( S.2 ) lapisan tanah keras terdapat pada kedalaman -3,00 meter dari permukaan tanah bahu jalan.
- 2) Dari hasil titik bor tangan B.1 pada lokasi penelitian secara umum lapisan tanah lanau kepasiran terdapat pada kedalaman -0,50 meter sampai -3,50 meter.
- 3) Dari hasil boring mesin ( BH. 1 ) lapisan tanah dari kedalaman -7,00 meter sampai 23,00 meter terdapat lapisan pasir kerikilan terurai dengan nilai N SPT = 49 sampai N SPT = 58.
- 4) Muka air tanah (MAT) sampai pada kedalaman -7,00 meter dari muka tanah.
- 5) Sifat tanah pada daerah untuk abutment dengan spesifikasi sebagai berikut :

B1 0 – 1 m	$\gamma_d = 1,2914 \text{ gr/cm}^3$	$\phi_1 = 15^\circ$ C = 0.11 kg/cm <sup>2</sup>
1 - 3 m	$\gamma_d = 1,4242 \text{ gr/cm}^3$	$\phi_1 = 23^\circ$ C = 0.19 kg/cm <sup>2</sup>

##### Pelat Injak



**Gambar 5.23. Pelat Injak**

##### Pembebanan Pelat Injak

Berat aspal	= $2250 \times 0,05 \times 1$	= 112,5	kg/m
Berat agregat	= $1450 \times 0,55 \times 1$	= 725,00	kg/m
Berat air hujan	= $1000 \times 0,1 \times 1$	= 100,00	kg/m
Berat pelat sendiri	= $2500 \times 0,2 \times 1$	= 500,00	kg/m
Berat Total (q)		= 1437,50	kg/m

$$\begin{aligned}
 M_{\text{maks}} &= 1/8 \times q \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 1437,50 \times 2,5^2 \\
 &= 1123,05 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Beban terpusat (P) :

$$\begin{aligned}
 P &= 10/0,6 \\
 &= 16,667 \text{ T} = 16667 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{maks}} &= 1/4 \times P \times L \\
 &= 1/4 \times 16667 \times 2,5 \\
 &= 10416,875 \text{ Kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{total}} &= 1123,05 + 10416,875 \\
 &= 11539,925 \text{ kgm} = 115,39925 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

#### Penulangan Pelat Injak

$$\begin{aligned}
 F'_c &= 35 \text{ MPa} \\
 F_y &= 400 \text{ MPa} \\
 B &= 100 \text{ cm} \\
 H &= 20 \text{ cm} \\
 D &= 20 - 4 - \frac{1}{2} (1,6) = 15,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{Mu}{b \times d^2} \\
 &= \frac{115,399}{1,00 \times 0,152^2} \\
 &= 4994,763 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$\rho$  = 0,017679 (interpolasi tabel 5.1.e Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang)

$\rho_{\text{min}}$  = 0,0018 (Tabel 7. Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang)

$\rho_{\text{max}}$  = 0,0271 (tabel 8 Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang)

$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$ ,

0,0018 < 0,017679 < 0,0271 sehingga:

$$A_{\text{sl}} = \rho \times b \times d \times 10^6 = 0,017679 \times 1 \times 0,152 \times 10^6 = 2687,208 \text{ mm}^2$$

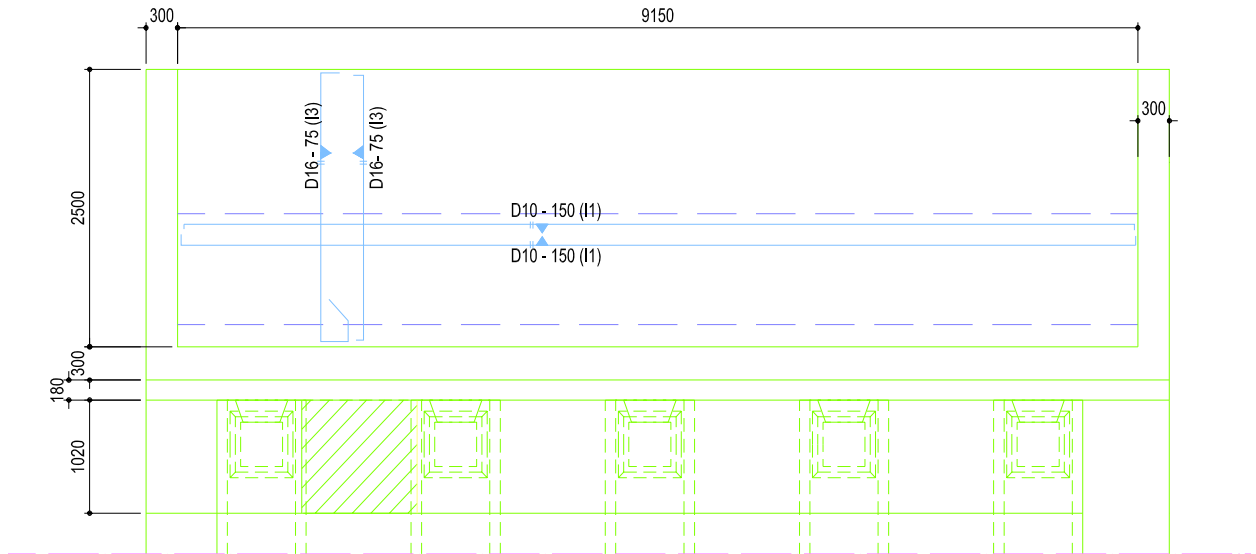
Untuk  $f_y$  = 240 Mpa, tulangan pembagi (As):

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{0,25 \times b \times 100}{100} \\
 &= \frac{0,25 \times 1000 \times 200}{100} \\
 &= 500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipilih:

Tulangan utama  $\varnothing 16 - 75$  ( $A_s = 2681 \text{ mm}^2$ )

Tulangan pembagi  $\varnothing 10 - 150$  ( $A_s = 524 \text{ mm}^2$ )



Gambar 5.24. Denah Penulangan Pelat Injak

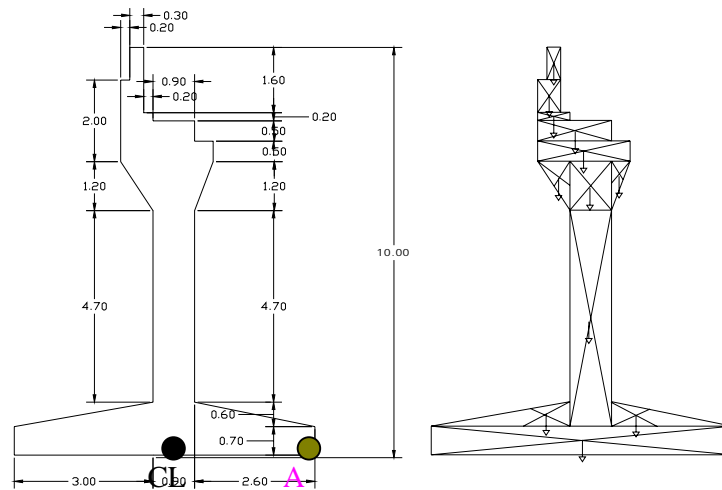
#### Pembebanan *abutment*

Gaya-gaya yang bekerja pada *abutment* antara lain :

- Beban Mati meliputi :
  - a. Berat sendiri
  - b. Beban mati bangunan atas
  - c. Gaya akibat beban vertikal tanah
- Beban Hidup meliputi :
  - a. Beban hidup bangunan atas
  - b. Gaya horisontal akibat rem dan traksi
  - c. Gaya akibat tekanan tanah aktif
  - d. Gaya gesek tumpuan bergerak
  - e. Gaya gempa
  - f. Beban angin

## Beban Mati

## 1. Berat sendiri

Gambar 5.25. Bagian-bagian *abutment* dan letak titik beratnya

Tabel 5. 14. Pembebanan abutment akibat berat sendiri

Bagian	Gaya Vertikal Vs (ton)					Jarak ( m )	Momen ( tm )
1	0.3	x	0.8	x	3.25	0.78	3.00
2	0.8	x	0.5	x	3.25	1.3	5.14
3	0.7	x	0.2	x	3.25	0.455	1.84
4	0.5	x	1.6	x	3.25	2.6	8.84
5	2	x	0.5	x	3.25	3.25	6.83
6	1.2	x	0.7	x	3.25	x 0.5	1.365
7	1.2	x	0.9	x	3.25	3.51	3.05
8	1.2	x	0.4	x	3.25	x 0.5	0.78
9	0.9	x	4.7	x	3.25	13.7475	3.05
10	3	x	0.6	x	3.25	x 0.5	2.925
11	3	x	0.6	x	3.25	x 0.5	2.925
12	3	x	6.5	x	3.25	63.375	3.25
V total					97.013	Momen Total	324.79

Untuk lebar 9 m, maka :

$$V_s = 97.013 \times 9 = 1067.143 \text{ T}$$

$$M_s = 324.79 \times 9 = 3572.69 \text{ Tm}$$

Jarak titik berat abutment terhadap titik A :

$$X = \frac{\sum Mx}{\sum Berat} = \frac{3572.69}{1067.143} = 3.3479 \text{ m}$$

Momen yang terjadi terhadap titik A :

$$M_g = \sum M_x = 3572.69 \text{ Tm}$$

**Tabel 5.15.** Pembebanan abutment akibat berat sendiri untuk perhitungan Sumuran

Bagian	Gaya Vertikal Vs (ton)						Jarak ke CL ( m )	Momen ke CL ( tm )
1	0.3	x	0.8	x	3.25	0.78	0.80	0.62
2	0.8	x	0.5	x	3.25	1.3	0.90	1.17
3	0.7	x	0.2	x	3.25	0.455	1.05	0.48
4	0.5	x	1.6	x	3.25	2.6	0.35	0.91
5	2	x	0.5	x	3.25	3.25	0.15	0.49
6	1.2	x	0.7	x	3.25	x 0.5	1.365	0.68
7	1.2	x	0.9	x	3.25		3.51	0.00
8	1.2	x	0.4	x	3.25	x 0.5	0.78	0.58
9	0.9	x	4.7	x	3.25		13.7475	0.00
10	3	x	0.6	x	3.25	x 0.5	2.925	0.95
11	3	x	0.6	x	3.25	x 0.5	2.925	1.32
12	3	x	6.5	x	3.25		63.375	0.2
V total						97.013	Momen Total	31.01

Untuk lebar 9 m, maka :

$$V_s = 97.013 \times 9 = 1067.143 \text{ T}$$

$$M_s = 31.01 \times 9 = 341.11 \text{ Tm}$$

## 2. Beban mati akibat konstruksi atas

Pembebanan akibat beban mati bangunan atas adalah :

$$\text{Beban aspal} : 0,05 \times 7 \times 30,8 \times 2,2 = 30,492 \text{ ton}$$

$$\text{Beban air hujan} : 0,05 \times 9 \times 30,8 \times 1,0 = 13,950 \text{ ton}$$

$$\text{Beban plat lantai} : 0,2 \times 11 \times 30,8 \times 3,25 = 220,22 \text{ ton}$$

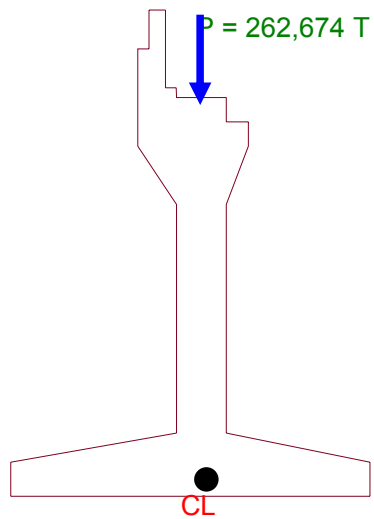
$$\begin{aligned} \text{Beban sandaran: } & 2 \times (0,25 \times 0,2 \times 30,8) \times 3,25 \\ & + 2 \times (30,8/2 + 1) \times 0,9 \times 0,2 \times 0,15 \times 3,25 \\ & + 2 \times (30,8/2 + 1) \times 0,25 \times 0,1^2 \times 3,14 \times 0,2 \times 3,25 = 13,39 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Beban balok prestress} : 0,4775 \times 30,8 \times 3,15 \times 5 = 231,635 \text{ ton}$$

$$\text{Beban diafragma} : 1,459 \times 3 \times 6 = 15,66 \text{ ton}$$

$$\text{Total} = 525,347 \text{ ton}$$

$$\text{Jadi total beban mati untuk abutment : } 0,5 \times 525,347 = 262,674 \text{ ton}$$



**Gambar 5.26.** Pembebanan abutment akibat beban mati bangunan atas

$$P_m = 262,674 \text{ T}$$

$$\text{Lengan terhadap G (x)} = 3,05 \text{ m}$$

Momen terhadap G :

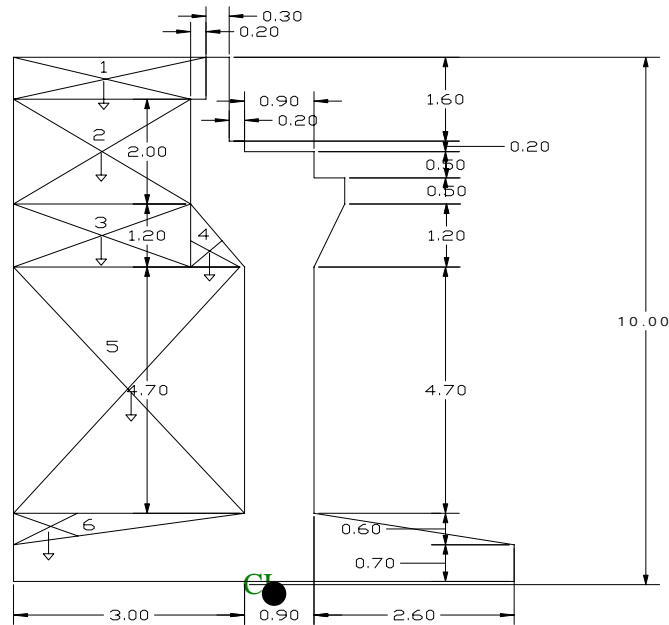
$$\begin{aligned} M_g &= x \times P_m \\ &= 3,05 \times 262,674 \\ &= 801,156 \text{ Tm} \end{aligned}$$

$$\text{Lengan terhadap CL (x)} = 0,165 \text{ m}$$

Momen terhadap CL :

$$\begin{aligned} M_g &= x \times P_m \\ &= 0,165 \times 262,674 \\ &= 35,9 \text{ Tm} \end{aligned}$$

3. Beban mati akibat timbunan tanah diatas pondasi *abutment*



Gambar 5.27 Pembebanan abutment akibat beban vertikal tanah timbunan

Untuk tanah timbunan digunakan tanah pada kedalaman 1-3 m, karena  $\gamma_d$  – nya tertinggi dari kedalaman yang lain.

$$\gamma_d = \gamma_d = 1,4242 \text{ gr/cm}^3 = 1,4242 \text{ T/ m}^3$$

Tabel 5.16. Pembebanan abutment timbunan tanah diatas pondasi

Bagian	Gaya Vertikal Vs (ton)						Jarak ke A (m)	Momen thdp A ( ton m )
1	2.50	x	0.80	x	1.42	2.85	5.05	14.38
2	2.30	x	2.00	x	1.42	6.55	5.15	33.74
3	2.30	x	1.20	x	1.42	3.93	5.15	20.24
4	0.50	x	1.20	x	1.42	0.43	3.83	1.64
5	3.00	x	4.70	x	1.42	20.08	5.00	100.41
6	3.00	x	0.60	x	1.42	1.28	5.50	7.05
						35.12		177.46

Untuk lebar 9 m, maka :

$$V_s = 35,12 \times 9 = 386,32 \text{ T}$$

$$M_s = 177,46 \times 9 = 1952,06 \text{ Tm}$$

Jarak titik berat timbunan terhadap titik A adalah :

$$X = \frac{\sum Mx}{\sum Berat} = \frac{1952,06}{386,32} = 5,05 \text{ m}$$



Momen terjadi terhadap A :

$$M_g = \sum M_x = 1952,06 \text{ Tm}$$

**Tabel 5.17.** Pembebanan abutment timbunan tanah diatas pondasi dengan momen terhadap CL

Bagian	Gaya Vertikal Vs (ton)						Jarak keCL (m)	Momen thdp CL ( ton m )
1	2.50	x	0.80	x	1.42	2.85	2.20	6.27
2	2.30	x	2.00	x	1.42	6.55	2.30	15.07
3	2.30	x	1.20	x	1.42	3.93	2.30	9.04
4	0.50	x	1.20	x	1.42	x 0.50	0.78	0.33
5	3.00	x	4.70	x	1.42	20.08	1.95	39.16
6	3.00	x	0.60	x	1.42	x 0.50	1.28	1.86
						35.12		71.73

Untuk lebar 9 m, maka :

$$V_s = 35,12 \times 9 = 386,32 \text{ T}$$

$$M_s = 71,73 \times 9 = 789,03 \text{ Tm}$$

Jarak titik berat timbunan terhadap titik CL adalah :

$$x = \frac{\sum M_x}{\sum Berat} = \frac{789.03}{386.32} = 2,04 \text{ m}$$

### Beban Hidup

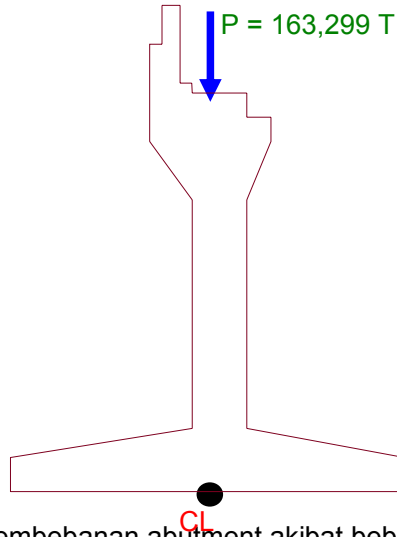
#### 1. Beban hidup bangunan atas

$$\text{Beban merata 'D'} : 0,79 \times 30,8 \times 5,5 + 0,5 \times 0,79 \times 30,8 \times 0,25 = 136,870 \text{ ton}$$

$$\text{Beban garis 'KEL'} : 6,16 \times 30,8 = 189,728 \text{ ton}$$

$$\text{Total} = 326,598 \text{ ton}$$

$$\text{Jadi total beban hidup untuk satu abutment} : 0,5 \times 326,598 = 163,299 \text{ ton}$$



**Gambar 5.28.** Pembebanan abutment akibat beban hidup bangunan atas

Lengan terhadap G =  $x = 3,05$  m

SLS (*Serviceability Limit State*)  $\longrightarrow$   $P = 163,299$  T

Momen terhadap G =

$$\begin{aligned} Mg &= Ph \times x = 163,299 \times 3,05 \\ &= 498,016 \text{ Tm} \end{aligned}$$

ULS (*Ultimate Limit State*)  $\longrightarrow$   $P = 163,299 \times 2 = 326,598$  T

Momen terhadap G =

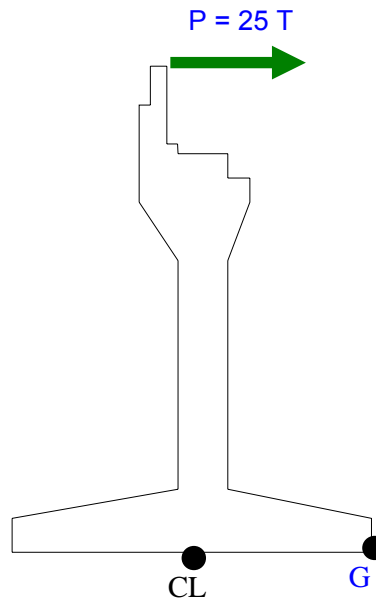
$$\begin{aligned} Mg &= Ph \times x = 326,598 \times 3,05 \\ &= 996,124 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Momen terhadap CL =

$$\begin{aligned} Mg &= Ph \times x = 326,598 \times 0,165 \\ &= 53,89 \text{ Tm} \end{aligned}$$

## 2. Gaya horisontal akibat rem dan traksi

BMS 1992 : "pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan." Besar gaya rem untuk  $L < 80$  m  
 $= 250\text{kN} = 25$  T.



**Gambar 5.29.** Pembebanan pilar akibat gaya rem dan traksi

Tinggi Abutmen rencana = 10 m

SLS (*Serviceability Limit State*) →  $P = 25 \text{ T}$

Momen terhadap G =

$$\begin{aligned} Mg &= Ph \times x = 25 \times 10 \\ &= 250 \text{ Tm} \end{aligned}$$

ULS (*Ultimate Limit State*) →  $P = 25 \times 2 = 50 \text{ T}$

Momen terhadap G =

$$\begin{aligned} Mg &= Ph \times x = 50 \times 10 \\ &= 500 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Momen terhadap CL =

$$\begin{aligned} Mg &= Ph \times x = 50 \times 10 \\ &= 500 \text{ Tm} \end{aligned}$$

### 3. Gaya akibat tekanan tanah aktif

Besarnya tekanan tanah yang bekerja pada abutmen tergantung dari properties tanah dan ketinggian tanah dibelakang abutmen.

Parameter tanah :

B1 0 – 1 m	$\gamma_d = 1,2914 \text{ gr/cm}^3$	$\phi_1 = 15^\circ$	$C = 0.11 \text{ kg/cm}^2$
1 - 3 m	$\gamma_d = 1,4242 \text{ gr/cm}^3$	$\phi_1 = 23^\circ$	$C = 0.19 \text{ kg/cm}^2$

Koefisien tekanan tanah :

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi_1) = 0,3197$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi_1) = 3,1162$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Tegangan tanah aktif} && : \\
 Pa1 &= Ka * g * H && = 5,599 \text{ t/m}^2 \\
 Pa2 &= Ka * q && = 0,697 \text{ t/m}^2 \\
 &\text{Tegangan tanah pasif} && : \\
 Pp &= Kp * g * H && = 0 \text{ t/m}^2 \\
 &\text{Besarnya tekanan tanah aktif / pasif} && : \\
 &\text{Rencana tinggi abutmen} && H = 10,00 \text{ m} \\
 &\text{Lebar telapak abutmen} && B = 5,00 \text{ m} \\
 &\text{Panjang abutmen arah melintang} && L = 9,00 \text{ m} \\
 &\text{Beban hidup yang bekerja diatas oprit } q = 2,182 \text{ t/m} \\
 Pa1 &= \frac{1}{2} * g * H^2 * Ka * L && = 251,944 \text{ t} \\
 Pa2 &= pa2 * H * L && = 62,775 \text{ t} \\
 Pp &= \frac{1}{2} * h * pp * L && = 0 \text{ t} \\
 f &= 251,944 + 62,775 && = 314.719 \text{ t}
 \end{aligned}$$

#### 4. Gaya gesek akibat tumpuan-tumpuan bergerak

$$f_{ges} = P_m \times C$$

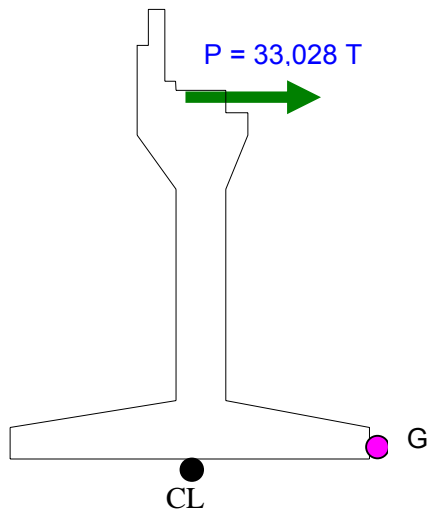
dimana:

$f_{ges}$  = gaya gesek tumpuan bergerak (rol)

$P_m$  = beban mati konstruksi atas (T) = 262,674 T

$C$  = koefisien tumpuan gesekan karet dengan baja = 0,15

$$F_{ges} = 262,674 \times 0,15 = 33,028 \text{ T}$$



**Gambar 5.30.** Gaya gesek tumpuan bergerak

Lengan gaya terhadap titik G :

$$Y_{ges} = 8,2 \text{ m}$$

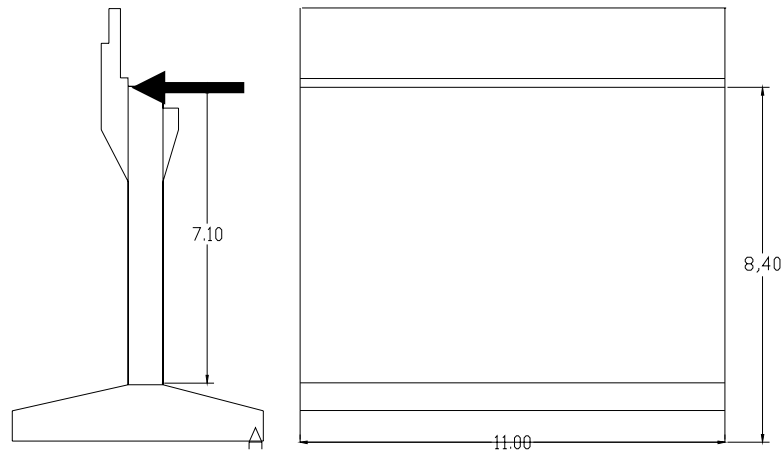
Momen terhadap titik G :

$$\begin{aligned} M_{ges} &= F_{ges} \times Y_{ges} \\ &= 33,028 \times 8,2 \\ &= 270,83 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen terhadap titik CL :

$$\begin{aligned} M_{ges} &= F_{ges} \times Y_{ges} \\ &= 33,028 \times 8,2 \\ &= 270,83 \text{ m} \end{aligned}$$

### 5. Gaya gempa



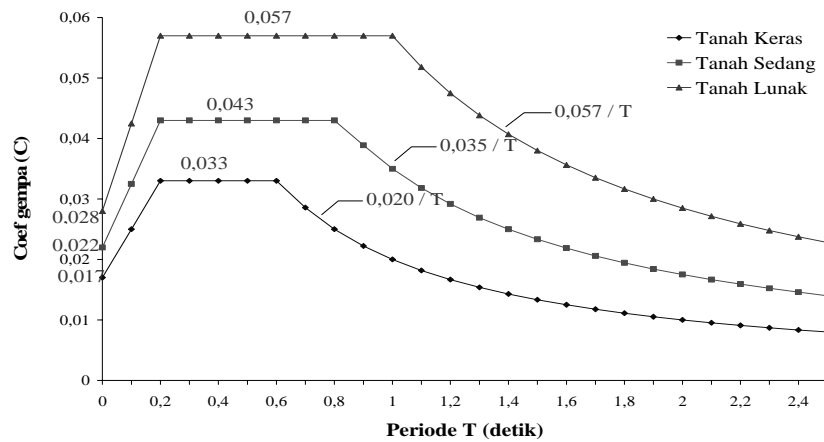
**Gambar 5.31.** Pembebanan gempa pada abutment

$$V = Wt. C. I. K. Z$$

dimana :

$$\begin{aligned} Wt &= \text{berat total jembatan yang dipengaruhi oleh percepatan gempa} \\ &= \text{berat bangunan atas} + \text{berat } \frac{1}{2} \text{ badan abutment} \\ &= 425,973 + (0,5 \times 266,539) \\ &= 559,243 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$C = \text{koefisien geser dasar gempa}$$



Gambar 5.32. Diagram spektrum respon gempa

$T$  = waktu getar struktur (detik)

$$= 2 \pi \sqrt{(Wt / g.K)}$$

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/det}^2$

$K$  = kekakuan pilar jembatan, untuk 1 pilar  $K = 3 \cdot E \cdot I / L^3$

$E$  = modulus elastisitas bahan pilar =  $200000 \text{ kg / cm}^2 = 2000000 \text{ T/m}^2$

$T/\text{m}^2$

$I$  = momen inersia penampang pilar ( $\text{m}^4$ )

$$= \frac{1}{12} \times 8,4 \times 11^3$$

$$= 931,7 \text{ m}^4$$

$L$  = tinggi abutment (meter)

$$K = \frac{3 \times EI}{L^3}$$

$$= \frac{3 \times 2000000 \times 931,7}{8,4^3}$$

$$= 9,43 \cdot 10^6 \text{ T/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\left( \frac{Wt}{g} \times K \right)}$$

$$= 2\pi \sqrt{\left( \frac{559,243}{9,81} \times 9,43 \cdot 10^6 \right)}$$

$$= 2\pi \cdot 23.187,85 \text{ detik}$$

Kekuatan geser tanah (S)

$$S = c + (\gamma \times h) \tan \varphi$$

$$\varphi_1 = 31 \text{ derajat}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,7512 \text{ t/m}^3 = 0,00175 \text{ kg/cm}^3 \\ C &= 2,1 \text{ t/m}^2 = 0,21 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Kedalaman lapisan tanah (h)} &= 3 \text{ m} = 300 \text{ cm} \\ S &= 0,21 + (0,00175 \times 840) \text{ Tan 31} \\ &= 1,093 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 109,3 \text{ Kpa}\end{aligned}$$

Tabel 5.18. Definisi jenis tanah

Kedalaman Lapisan (m)	Nilai Kuat Geser Tanah S (Kpa)		
	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
5	$S > 55$	$45 \leq S \leq 55$	$S < 45$
10	$S > 110$	$90 \leq S \leq 110$	$S < 90$
15	$S > 220$	$180 \leq S \leq 220$	$S < 180$
$\geq 20$	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S < 270$

$90 \leq S \leq 110$ ,  $S = 109,3 \text{ Kpa}$ , maka termasuk tanah sedang.

Dari diagram spektrum respon gempa didapat  $C = 0,012$

$I$  = faktor kepentingan

= 1,0 ; Jembatan merupakan jembatan permanen

$K$  = faktor jenis struktur

= 3 ; merupakan jembatan type C bersifat elastis tidak daktail

$Z$  = faktor wilayah gempa

= 1,4 ; Salatiga termasuk dalam zone gempa 3 (Rekayasa Gempa, 2004)

$V$  =  $Wt. C. I. K. Z$

=  $559,243 \times 0,012 \times 1,0 \times 3 \times 1,4$

= 28,186 Ton

Lengan terhadap G ( $Y_g$ ) = 8,4 m

Momen terhadap G =  $28,186 \times 8,4$

= 236,7624 Tm

#### 6. Beban angin ( $w = 62,1 \text{ kg/m}^2$ )

Beban angin pada sisi struktur atas jembatan ( $d_1$ ) :

$d_1 = 100\% \times A \times w / 2$

=  $100\% \times (2 \times 30,8) \times 62,1 / 2$

= 1912,68 kg

Beban angin pada muatan hidup setinggi 2 m ( $d_2$ ) :

$$\begin{aligned}
 d2 &= 100\% \times w \times L \times 2 \text{ m} / 2 \\
 &= 100\% \times 62,1 \times 30,8 \times 2 / 2 \\
 &= 1912,68 \text{ kg} \\
 d_{\text{total}} &= d1 + d2 \\
 &= 1912,68 + 1912,68 = 3825,36 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Lengan terhadap A:

$$Y1 = 8,4 + 1 = 9,4 \text{ m}$$

$$Y2 = 10,0 + 1 = 11 \text{ m}$$

Momen terhadap titik A :

$$\begin{aligned}
 Ma &= d1 \times Y1 + d2 \times Y2 \\
 &= 1,91268 \times 9,4 + 1,91268 \times 11 \\
 &= 39,02 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Momen terhadap titik CL :

$$\begin{aligned}
 Ma &= d1 \times Y1 + d2 \times Y2 \\
 &= 1,91268 \times 9,4 + 1,91268 \times 11 \\
 &= 39,02 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

#### 5.3.1.2. Perhitungan Kapasitas Pondasi Telapak

$$P_{\text{max}} = \left( \frac{P_v}{A} \right) + \left( M_{hx} \times \left( \frac{x}{I_y} \right) \right) + \left( M_{hy} \times \left( \frac{y}{I_x} \right) \right)$$

dimana :

$P_{\text{max}}$  = beban maksimum total pondasi

$P_v$  = beban vertikal total

$A$  = luas dasar pondasi

$M_x$  = momen arah x

$M_y$  = momen arah y

$x$  = 3,6 / h

$y$  = 13 / h

$I_x$  = momen inersia arah x

$I_y$  = momen inersia arah y





- $c$  = kohesi tanah dasar ( $t/m^2$ )  
 $\gamma$  = berat isi tanah dasar ( $t/m^3$ )  
 $B=D$  = lebar pondasi (meter)  
 $D_f$  = kedalaman pondasi (meter)  
 $N_\gamma, N_q, N_c$  = faktor daya dukung *Terzaghi*  
 $A_p$  = luas dasar pondasi  
 $B$  = lebar pondasi  
 $L$  = panjang pondasi

**Tabel 5.19.** Nilai-nilai daya dukung Terzaghi

$\phi$	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,3	1153,2	81,3	65,6	87,1

Berdasar data tanah diperoleh nilai :

$$\begin{aligned}
 \phi_1 &= 23^\circ \\
 \gamma_d &= 1,4242 \text{ gr/cm}^3 = 0,001424 \text{ kg /cm}^3 \\
 C &= 1,9 \text{ t/m}^2 = 0.19 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh ( hasil interpolasi ) :

$$\begin{aligned}
 N_c &= 22,15 \\
 N_q &= 10,58 \\
 N_\gamma &= 7,82
 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin pondasi dangkal menurut formula *Terzaghi & Peck* :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ult} &= (c \cdot N_c (1 + 0,3B/L) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (1 - 0,2B/L)) \\
 \sigma_{ult} &= (0,19 \cdot (22,15)(1 + 0,3 \cdot 500/1100) + (1,4242/1000) \cdot 100 \cdot (10,58) + 0,5 \cdot (1,4242/1000) \cdot 500 \cdot (7,82) \cdot (1 - 0,2 \cdot 500/1100)) \\
 \sigma_{ult} &= 8,82 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \sigma_{all} &= (1/3) \cdot \sigma_{ult} \\
 \sigma_{all} &= (1/3) \cdot 88,2 = 29,4 \text{ Ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Kombinasi Pembebanan Pada Abutment

Tabel 5.20. Kombinasi Beban

AKSI	Kombinasi Beban					
	Ultimate					
	1	2	3	4	5	6
1. Aksi Tetap: berat sendiri beban mati tambahan penyusutan, rangkai prategang pengaruh pelaksanaan tetap tekanan tanah penurunan	x	x	x	x	x	x
2. Aksi <i>Transien</i> : beban lajur "D", atau beban truk "T"	x	o	o	o		
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal	x	o	o	o		
4. beban pejalan kaki		x				
5. Gesekan pada perletakan	o	o	o	o		o
8. Beban angin	o		o	x		o
9. Aksi lain: gempa					x	

Sumber : BMS 1992

Ket. o = kondisi batas layan (SLS)  
x = kondisi ultimate (ULS)

Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penggantian Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

Tabel 5. 21. Kombinasi 1

AKSI	kombinasi 1 (Aksi Tetap ULS + Aksi Transien ULS + Gaya Rem ULS + Gaya Gesek SLS + Beban Angin SLS)				
	V Vertikal	V Horisontal	M Vertikal	M Horisontal	ULS/SLS
1. Aksi Tetap:					
berat sendiri	1067,143		3572,69		
prategang	425,973		801,156		
tekanan tanah		314,719		1573,595	
2. Aksi <i>Transien</i> :					x
beban lajur "D", atau beban truk "T"	326,598		966,124		
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal		50		500	x
4. beban pejalan kaki					
5. Gesekan pada perletakan		33,028		125.508	o
8. Beban angin		3,83		39,02	o
9. Aksi lain: gempa					
jumlah	1819,714	401,377	5339,97	2238,123	

Tabel 5. 22. Kombinasi 2

AKSI	kombinasi 2 (Aksi Tetap ULS + Aksi Transien SLS + Gaya Rem SLS + Beban Pejalan Kaki ULS + Gaya Gesek SLS)				
	V Vertikal	V Horisontal	M Vertikal	M Horisontal	ULS/SLS
1. Aksi Tetap:					x
berat sendiri	1067,143		3572,69		
prategang	425,973		801,156		
tekanan tanah		314,719		1573,595	
2. Aksi <i>Transien</i> :					o
beban lajur "D", atau beban truk "T"	163,299		498,016		
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal		25.000		145.000	o
4. beban pejalan kaki					
5. Gesekan pada perletakan		33.028		270,83	o
8. Beban angin					
9. Aksi lain: gempa					
jumlah	1819,714	372,747	4871,862	1989,43	

Tabel 5. 23. Kombinasi 3

AKSI	kombinasi 3 (Aksi Tetap ULS + Aksi Transien SLS + Gaya Rem SLS + Gaya Gesek SLS+ Beban Angin SLS)				
	V Vertikal	V Horisontal	M Vertikal	M Horisontal	ULS/SLS
1. Aksi Tetap:					x
berat sendiri	1067,143		3572,69		
prategang	425,973		801,156		
tekanan tanah		314,719		1573,595	
2. Aksi <i>Transien</i> :					o
beban lajur "D", atau beban truk "T"	116.640		291.599		
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal		25.000		145.000	o
4. beban pejalan kaki					
5. Gesekan pada perletakan		33.028		270,83	o
8. Beban angin		3,83		39,02	o
9. Aksi lain: gempa					
jumlah	1609,56	376,577	4665,45	2028,445	

Tabel 5. 24. Kombinasi 4

AKSI	Kombinasi 4 (Aksi Tetap ULS + Aksi Transien SLS + Gaya Rem SLS + Gaya Gesek SLS+ Beban Angin ULS)				
	V Vertikal	V Horisontal	M Vertikal	M Horisontal	ULS/SLS
1. Aksi Tetap:					x
berat sendiri	1067,143		3572,69		
prategang	425,973		801,156		
tekanan tanah		314,719		1573,595	
2. Aksi <i>Transien</i> :					o
beban lajur "D", atau beban truk "T"	163,299		498,016		
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal		25		250	o
4. beban pejalan kaki					
5. Gesekan pada perletakan		33,028		270,83	o
8. Beban angin		3,83		39,02	x
9. Aksi lain: gempa					
Jumlah	1656,415	376,577	4871,862	2133,445	

Tabel 5.25. Kombinasi 5

AKSI	kombinasi 5 (Aksi Tetap ULS + Gempa ULS)				
	V Vertikal	V Horisontal	M Vertikal	M Horisontal	ULS/SLS
1. Aksi Tetap:					x
berat sendiri	1067,143		3572,69		
prategang	425,973		801,156		
tekanan tanah		314,719		1573,595	
2. Aksi <i>Transien</i> :					
beban lajur "D", atau beban truk "T"					
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal					
4. beban pejalan kaki					
5. Gesekan pada perletakan					
8. Beban angin					
9. Aksi lain: gempa		28,186		236,73	x
jumlah	1493,116	342,905	4373,846	1810,325	



Tabel 5.26. Kombinasi 6

AKSI	kombinasi 6 (Aksi Tetap + Gaya Gesek SLS + Beban Angin SLS)				
	V Vertikal	V Horisontal	M Vertikal	M Horisontal	ULS/SLS
1. Aksi Tetap:					
berat sendiri	1067,143		3572,69		x
prategang	425,973		801,156		
tekanan tanah		314,719		1573,595	
2. Aksi <i>Transien</i> :					
beban lajur "D", atau beban truk "T"					
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal					
4. beban pejalan kaki					
5. Gesekan pada perletakan		33,028		125.508	o
8. Beban angin		3,83		39,02	o
9. Aksi lain: gempa					
jumlah	1493,116	351,577	4373,846	1738,123	

Digunakan kombinasi 1 dengan gaya dan momen sebagai berikut :

$$V_v = 1819,714 \text{ t}$$

$$V_h = 401,377 \text{ t}$$

$$M_v = 5339,97 \text{ tm}$$

$$M_h = 2283,123 \text{ tm}$$

Kontrol Terhadap:

**a. Gaya Guling**

$$\begin{aligned} FS &= \frac{\sum M_v}{\sum M_h} \\ &= \frac{5339,97}{2283,123} = 2,338 > \overline{SF} = 1,5 \quad \dots\dots\dots \text{Aman} \end{aligned}$$

**b. Gaya Geser**

$$FS = \frac{\sum V \times \tan \delta + Ca \times B}{\sum H}$$

$\tan \delta$  = faktor geser tanah antara tanah dan dasar tembok (Buku Teknik Sipil)

= 0,45 (Beton dengan tanah lempung padat dan pasir gravelan padat)

$Ca$  = adhesi antara tanah dan dasar tembok = 0

$B$  = lebar dasar pondasi

$$Fs = \frac{1819,714 \times 0,45 + 0 \times 5,0}{401,377} = 2,040 > \overline{SF} = 1,5 \quad \dots\dots\dots \text{Aman}$$

**c. Eksentrisitas**

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - \frac{\sum M_v - \sum M_h}{\sum V} < \frac{B}{6} = \frac{4,5}{6} = 0,75 \text{ m} \\ &= \frac{5,0}{2} - \frac{5339,97 - 2283,123}{1819,714} = 0,71 < 0,75 \text{ m} \quad \dots\dots\dots \text{Aman} \end{aligned}$$

**d. Pmax Pondasi**

$$P_{max} = \left( \frac{P_v}{A} \right) + \left( M_{hx} \times \left( \frac{x}{I_y} \right) \right) + \left( M_{hy} \times \left( \frac{y}{I_x} \right) \right)$$

dimana :

$P_{max}$  = beban maksimum total pondasi

$P_v$  = beban vertikal total

$A$  = luas dasar pondasi

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{momen arah x} \\
 M_y &= \text{momen arah y} \\
 x &= 3,6 / h \\
 y &= 13 / h \\
 I_x &= \text{momen inersia arah x} \\
 I_y &= \text{momen inersia arah y} \\
 P_{\max} &= \frac{1819,714}{55} + \frac{(2283,123) \times 2,5}{114,58} \\
 &= 82,9 \text{ T/m}^2 > P_{\text{all}} = 29,4 \text{ T/m}^2 \quad \dots\dots\dots \text{Tidak Aman}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai  $P_{\max}$  pondasi tidak aman sehingga direncanakan menggunakan pondasi sumuran untuk menanggulangi kegagalan konstruksi.

### 5.3.2.2. Perencanaan Pondasi Sumuran

#### Parameter Tanah Asli :

Lapis 1	: $\phi_1$	= $31,00^\circ$
	Tan $\phi_1$	= 0,6
	$\gamma_1$	= $1,751 \text{ t/m}^3$
	$C_1$	= $2,100 \text{ t/m}^2$
	$h_1$	= 2,00 m
Lapis 2	: $\phi_2$	= $31,00^\circ$
	Tan $\phi_2$	= 0,6
	$\gamma_2$	= $1,751 \text{ t/m}^3$
	$C_2$	= $2,100 \text{ t/m}^2$
	$H_2$	= 4,00 m

Dari grafik diperoleh untuk  $\phi = 31$ , besarnya factor daya dukung menurut Terzaghi :

$$\begin{aligned}
 N_c &= 32 \\
 N_\gamma &= 18 \\
 N_q &= 20
 \end{aligned}$$

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + D \cdot \gamma \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= 1308,5130 \text{ t/m}^2 \\
 q_{\text{safe}} &= Q_{ult} / SF \\
 &= 1308,5130 \text{ t/m}^2 / 3 \\
 &= 436,171 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

**Koefisien Tekanan Tanah :**

$$K_{a1} = \tan^2 (45 - \phi_1 / 2) = 0,320$$

$$K_{a2} = \tan^2 (45 - \phi_2 / 2) = 0,320$$

Tegangan tanah aktif pada pondasi sumuran :

$$\sigma_{a2} = K_{a2} \cdot \gamma_2 \cdot H_2 = 2,239 \text{ t/m}^2$$

Besarnya tekanan tanah aktif :

$$\text{Rencana tinggi abutmen} \quad H = 10,00 \text{ m}$$

$$\text{Lebar telapak abutmen} \quad B = 5,00 \text{ m}$$

$$\text{Panjang abutmen arah melintang} \quad L = 11,00 \text{ m}$$

Beban hidup yang bekerja diatas oprit  $q = 2,182 \text{ t/m}$

$$P_{a1} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot H^2 \cdot K_{a2} \cdot L = 40,311 \text{ t}$$

**Mencari Diameter Pondasi Sumuran :**

Direncanakan menggunakan pondasi sumuran dengan kedalaman -4,00 meter dari muka tanah ( panjang sumuran 4 meter dari poer ). Karena pondasi berbentuk lingkaran, maka berlaku rumus Terzaghi :

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + D \cdot \gamma \cdot N_q + 0,6 \cdot \gamma_1 \cdot R \cdot N_{\gamma}$$

$$Q_{ult} = P/A$$

$$\text{Dimana : } P = 1819,714 \text{ ton}$$

$$A = \pi \cdot R^2$$

$$1819,714 / \pi \cdot R^2 = 1,3 \cdot 0,02 \cdot 32 + 4 \cdot 1,65 \cdot 20 + 0,6 \cdot 1,65 \cdot R \cdot 18$$

Diperoleh nilai  $R = 2,00$  meter

Direncanakan  $R$  pondasi sumuran = 2,00 meter ( Diameter = 4,00 meter ) berarti memenuhi perhitungan.

**Perhitungan Pondasi Sumuran :**

$$\text{Beban Mati} = 1819,714 \text{ ton}$$

$$\text{Daya dukung ( } Q_{ult} \text{ )} = 8221,547 \text{ ton}$$

Jumlah Pondasi Sumuran

$$N = 1819,714 \text{ ton} / 8221,547 \text{ ton}$$

$$= 0,221 \text{ buah} \sim 2 \text{ buah}$$

**Perhitungan jarak as ke as antar Sumuran :**

Syarat jarak :  $1,5 D - 3,0 D$  dimana  $D$  sumuran = 4,00 meter

Syarat jarak : 2,25 m – 4,50 m

Diambil jarak antar pondasi sumuran antar as ke as adalah 4,75 meter

**Kontrol daya dukung :**

Panjang pondasi = L = 4,0 meter

Berat sendiri pondasi = Wt = 165,792 ton

$$P_{max} = \frac{1819,714}{55} + \frac{(2283,123) \times 2,5}{114,58}$$

$$= 82,9 \text{ T/m}^2 < Q_{safe} = 436,171 \text{ T/m}^2$$

Karena daya dukung tanah lebih besar dari P yang terjadi maka **aman**

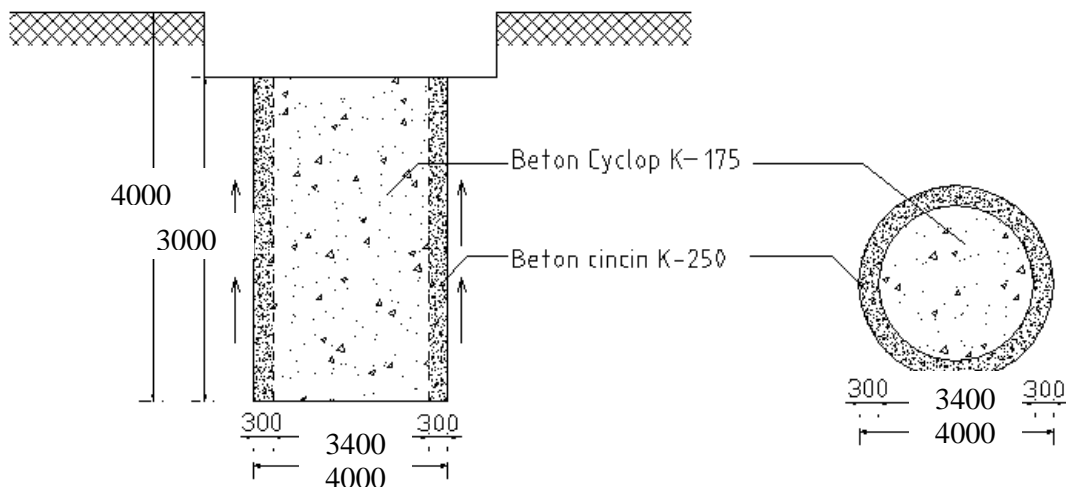
**Perhitungan Cincin Sumuran :**

Beton cyclop,  $f'_c = 17,5 \text{ MPa} = 175 \text{ kg/cm}^2$

Beton cincin,  $f'_c = 25 \text{ MPa} = 250 \text{ kg/cm}^2$

Kedalaman pondasi = 4 m

Tebal cincin sumuran = 30 cm



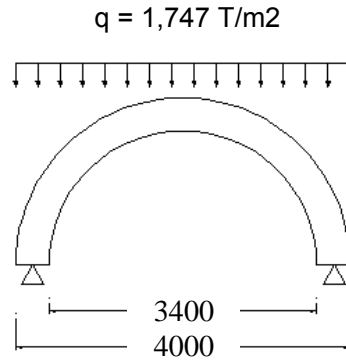
**Gambar 5. 34. Lay Out Pondasi Sumuran**

$$q = \frac{1}{2} \times \gamma \times H \times Ka$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,751 \text{ t/m}^3 \times 4 \times 0,320$$

$$= 1,747 \text{ T/m}^2$$

Cincin sumuran dianggap konstruksi pelengkung dengan perletakan sendi-sendi dengan beban merata sebesar  $q = 1,747 \text{ T/m}^2$  dengan momen maksimum terletak pada tengah bentang.



**Gambar 5. 35.** Pembebanan pada dinding sumuran (beton cincin)

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 \times q \times l^2 \\ &= 1/8 \times 1,747 \times 3^2 \\ &= 1,965 \text{ Tm} = 196500 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Dinding sumuran dianggap sebagai plat beton dengan arah tulangan x dan y yang direncanakan menggunakan tulangan utama D 12 mm

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{196500}{0,8} = 245671 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - p - \frac{1}{2} D \\ &= 300 - 40 - \frac{1}{2} 12 \\ &= 254 \text{ mm} = 25,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b = \pi \times D = \pi \times 3000 = 9424,778 \text{ mm} = 942,478 \text{ cm}$$

$$R_l = 0,85 f_c = 0,85 \times 250 = 212,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = \frac{M_n}{b \times d^2 \times R_l} = \frac{491344}{942,478 \times 25,4^2 \times 212,5} = 0,0019$$

$$\begin{aligned} F &= 1 - \sqrt{1 - 2K} \\ &= 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0019} \\ &= 0,0019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{maks}} &= \frac{\beta_1 \times 4500}{6000 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 4500}{6000 + 4000} \\ &= 0,3825 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{maks}} &= F_{\text{maks}} \times (1 - f_{\text{maks}}/2) \\ &= 0,3825 \times (1 - 0,3825/2) \\ &= 0,309 \end{aligned}$$

$F < F_{max}$  berarti menggunakan tulangan single *underreinforced*

$$\begin{aligned} A_s &= F \times b \times d \times \frac{R_l}{f_y} \\ &= 0,0038 \times 9424,778 \times 254 \times \frac{212,5}{4000} \\ &= 241,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 – 150

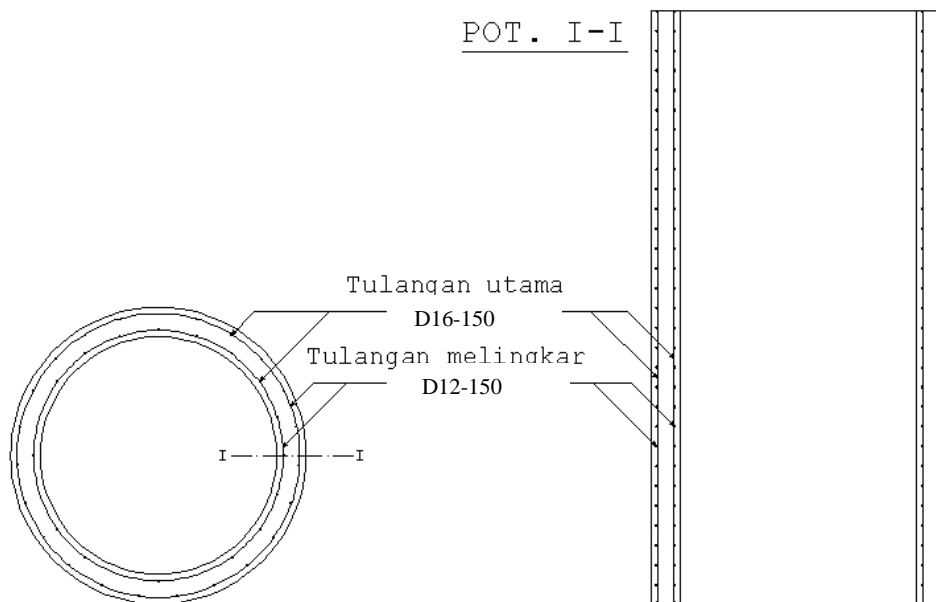
Penulangan geser sumuran

$$\begin{aligned} \text{Gaya tarik melingkar (T)} &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \times D \times K_a \\ &= \frac{1}{2} \times 1,678 \times 6^2 \times 3 \times 0,347 \\ &= 31,442 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan geser (A)} = \frac{T}{\sigma_u} = \frac{31442}{1600} = 19,651 \text{ cm}^2 = 1965,1 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 2400, \overline{\sigma_u} = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

Digunakan tulangan double D12 – 150



**Gambar 5. 36.** Penulangan Pondasi Sumuran

#### Penulangan Abutment :

Dari perhitungan sebelumnya didapat :

$$V_v = 1819,714 \text{ t}$$

$$V_h = 401,377 \text{ t}$$

$$M_v = 5339,97 \text{ tm}$$

$$M_h = 2283,123 \text{ tm}$$

Dipakai :

$$D_{tul} = 25 \text{ mm}$$

$$F_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$F_c = 22,5 \text{ Mpa}$$

$$F_c' = 0,83 \cdot f_c = 18,675 \text{ Mpa}$$

$$B = 11000 \text{ mm}$$

$$D = 1000 - 50 - 0,5 \cdot 25 = 938 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{b_l \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 18,675}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right) = 0,0275 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0275 = 0,0206 \end{aligned}$$

$$P_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004$$

$$M_u = k \cdot b \cdot d^2$$

$$5339,97 \cdot 10^7 = k \cdot 11000 \cdot 938^2$$

$$K = 0,181$$

$$K = 0,9 \cdot p \cdot f_y$$

$$0,181 = 0,9 \cdot p \cdot 320$$

$$P = 0,0000629 < p_{\min} = 0,004$$

$$\text{Diambil } p = p_{\min}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} A_s \min &= p_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,004 \cdot 11000 \cdot 938 = 41272 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

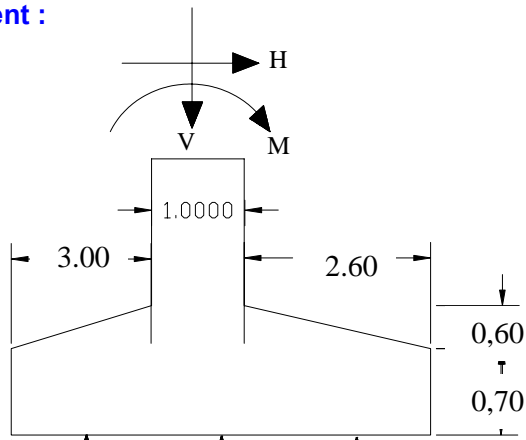
$$\begin{aligned} \text{Dipakai } D_{25-200}; A_s &= 0,25 \cdot 25^2 \cdot 3,14 \cdot \left( \frac{11000}{80} + 1 \right) \\ &= 62624,16 \text{ mm}^2 > A_s \min \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan bagi min (20\% dari tulangan pokok)} &= 20\% \cdot 62624,16 \text{ mm}^2 \\ &= 12524,833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dipakai } \emptyset 16-200; A_s &= 0,25 \cdot 16^2 \cdot 3,14 \cdot \left( \frac{11000}{200} + 1 \right) \\ &= 8239,36 \text{ mm}^2 > A_s \min \end{aligned}$$



## Penulangan Poer Abutment :



Gambar 5. 37. Skema Pembebanan Pada Kaki Abutment

$$V_v = 1819,714 \text{ t}$$

$$V_h = 401,377 \text{ t}$$

$$M_v = 5339,97 \text{ tm}$$

$$M_h = 2283,123 \text{ tm}$$

X max = jarak terjauh Sumuran ke pusat berat kelompok Sumuran = 4,0 m

$$P_{max} = \frac{1819,714}{12} \pm \frac{240,419 * 1,45}{4 * 16,82} \pm \frac{0}{3 * 12,5}$$

$$= 70,866 \text{ Ton}$$

$$M_u = 1,45 * P$$

$$= 1,45 * 70,866$$

$$= 452,129 \text{ Tm} = 452,129 * 10^7 \text{ Nmm}$$

Kontrol terhadap Pecahnya konstruksi

$$\frac{M_u}{W} < 0,1 * f_c'$$

$$\frac{452,129 * 10^7}{\frac{1}{6} * 8000 * 1500^2} = 0,1 * 22,5$$

1,507 < 2,25 .....Konstruksi Tak Pecah

Penulangan (dipakai tulangan D20)

$$b = 8000$$

$$h = 1500$$

$$d' = 1500 - 40 - 20$$

$$= 1440 \text{ mm}$$

## Laporan Tugas Akhir

Evaluasi dan Penanganan Jembatan Tanggi  
di Ruas Jalan Salatiga - Boyolali Sta. 14 + 400 Km. Smg 57+000

$$\frac{Mu}{b * d^2} = p * 0,8 * 400 \left(1 - 0,588 * p * \frac{320}{22,5}\right)$$

$$\frac{4,521 * 10^9}{8000 * 1440^2} = p * 0,8 * 320 \left(1 - 0,588 * p * \frac{320}{22,5}\right)$$

$$0,273 = 256 * p * (1 - 8,36p)$$

$$P = 0,00107$$

$$\rho_{min} = 0,004$$

$$\rho_{max} = 0,0206$$

dipakai  $p = 0,004$

$$As = p * b * d$$

$$= 0,004 * 8000 * 1440 = 46080 \text{ mm}^2$$

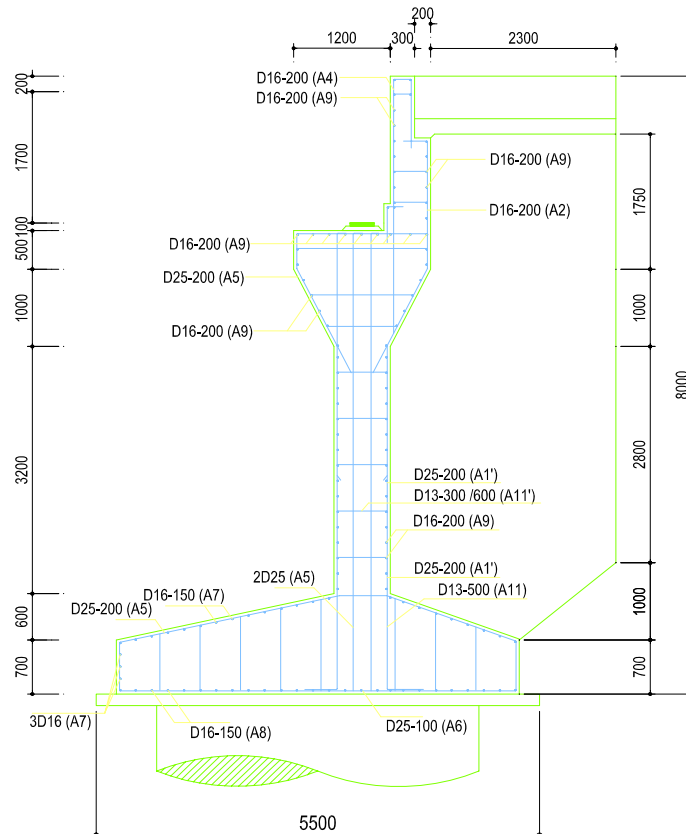
Digunakan tulangan D25-200 ( $As = 49062,5 \text{ mm}^2$ )

Tulangan bagi dipakai tulangan praktis = 20% \*  $As$

$$= 20\% * 46080$$

$$= 9216 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D16-150 ( $As = 11335 \text{ mm}^2$ )



**Gambar 5.38.** Sketsa Tulangan Kaki Abutment

**Perhitungan geser Pons :**

Tebal pondasi dicek terlebih dahulu sehingga dapat memenuhi ketentuan SK-SNI – T15-1994- 03 pasal 3.4.1.1.

$V_c$  diturunkan dari SK SNI di atas yakni dalam bentuk :

$$V_c = \left(1 + \frac{1}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d$$

Dimana:

$$\beta_c = \text{rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom} = \frac{8000}{4500} = 1,778$$

$$d = \text{tebal efektif pondasi telapak} = 1500 - 40 - 0,5 \cdot 25 = 1447,5 \text{ mm}$$

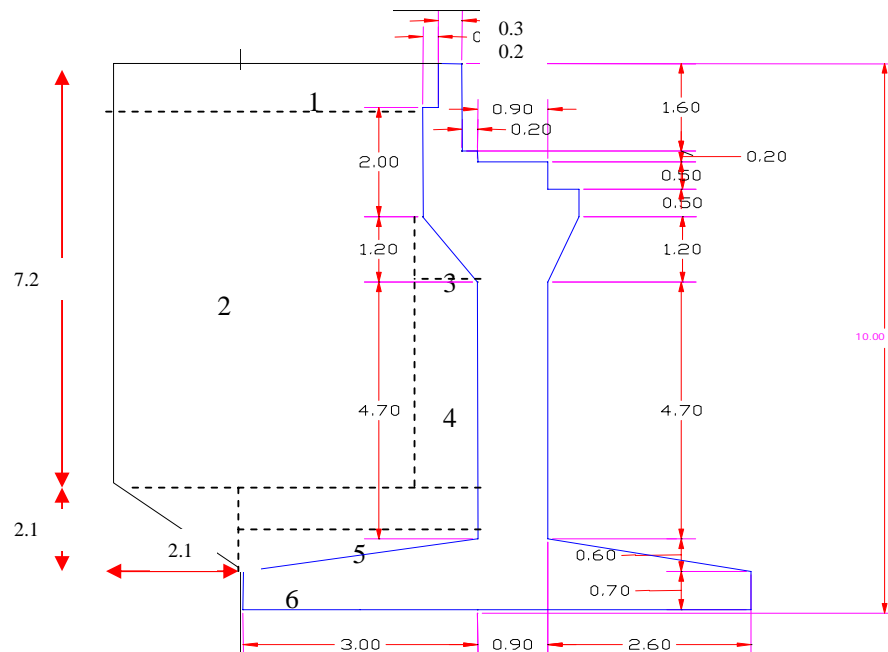
$$\begin{aligned} b_0 &= \text{perimeter keliling penampang poer terhadap geser} \\ &= 2 \cdot (8000 + 1447,5) \\ &= 18895 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = 788,220 \text{ T} = 7,88 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{1}{1,778}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{22,5} \cdot 18895 \cdot 1447,5 \\ &= 33,783 \cdot 10^6 \text{ N} > V_u \dots\dots\dots \text{aman} \end{aligned}$$

**5.3.2.3. Perhitungan Penulangan Wing Wall ( Tembok Sayap )**

Bangunan *wingwall* dengan ketebalan 40 cm direncanakan sebagai berikut :



**Gambar 5.39.** Pembagian penampang *wingwall*

**Pembebanan :****Berat sendiri *wingwall*****Tabel 5.27.** Berat sendiri *wingwall*

Segmen	Perhitungan	Luas ( m <sup>2</sup> )	Tebal ( m )	Berat jenis ( t/m <sup>3</sup> )	Berat ( ton )
1	5.10 x 0.80	4.08	0.4	2.5	4.08
2	4.9 x 6.40	31.36	0.4	2.5	31.36
3	0.5 x 0.2 x 1.2	0.12	0.4	2.5	0.12
4	0.2 x 3.2	0.64	0.4	2.5	0.64
5	3.0 x 1.50	4.5	0.4	2.5	4.5
6	0.5 x 2.1 x 2.1	2.205	0.4	2.5	2.205
7	0.5 x 3.0 x 0.6	0.9	0.4	2.5	0.9
					43.805

$$\begin{aligned}
 \text{Berat } wingwall \text{ per m} &= \frac{43.805}{9.3} \\
 &= 4.71 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

**Akibat tekanan tanah**

Dari perhitungan diatas didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \gamma_1 &= 1,2914 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 1,2914 \text{ T/ m}^3 \\
 \phi_1 &= 15^\circ \\
 C_1 &= 0.11 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 1.1 \text{ T/m}^2 \\
 H_1 &= 2.8 \text{ m} \\
 \gamma_2 &= 1,4242 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 1,4242 \text{ T/ m}^3 \\
 \Phi_2 &= 23^\circ \\
 C_2 &= 0.19 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 1.9 \text{ T/ m}^2 \\
 H_2 &= 6.5 \text{ m} \\
 Ka_1 &= \text{tg}^2 ( 45^\circ - \phi_1/2 ) \\
 &= \text{tg}^2 ( 45^\circ - 15^\circ/2 ) \\
 &= 0.589 \\
 Ka_2 &= \text{tg}^2 ( 45^\circ - \phi_1/2 ) \\
 &= \text{tg}^2 ( 45^\circ - 23^\circ/2 )
 \end{aligned}$$

$$= 0.438$$

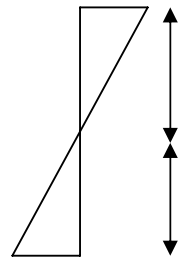
Dari perhitungan pembebanan abutment untuk beban merata yang diakibatkan oleh beban lalu lintas sebesar :

$$\begin{aligned} q &= 0.79 \text{ T/m}^2 \times 30.8 \text{ m} \\ &= 24.332 \text{ T/m} \end{aligned}$$

Maka diperoleh :

$$\begin{aligned} Pa_1 &= q \times H_1 \times Ka_1 \times B \\ &= 24.332 \times 2.8 \times 0.589 \times 2.5 \\ &= 100.32 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa_2 &= q \times H_2 \times Ka_2 \times B \\ &= 24.332 \times 6.5 \times 0.438 \times 2.5 \\ &= 173.183 \text{ T} \end{aligned}$$



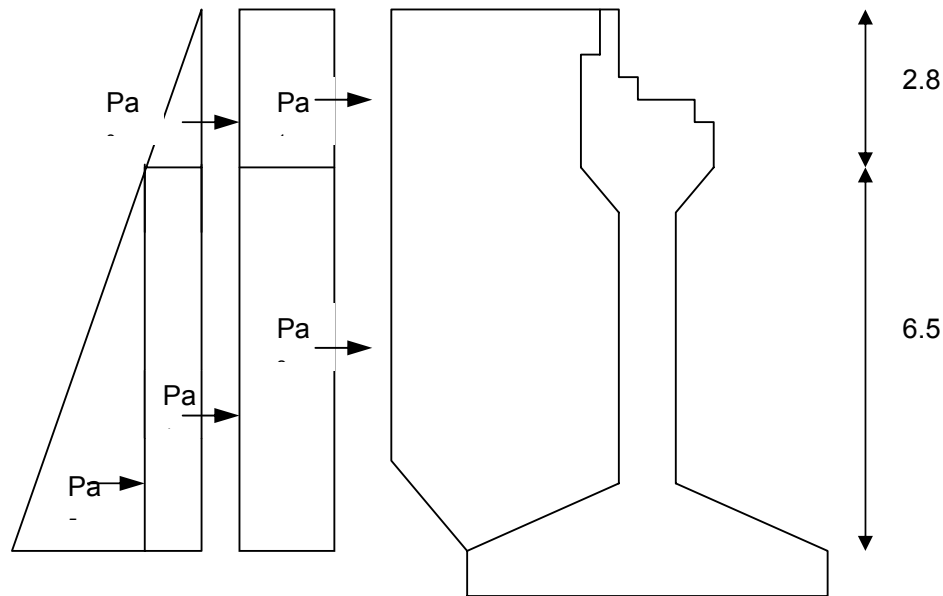
$$Z_o = \frac{2 \times c}{\gamma \sqrt{Ka}} = \frac{2 \times 1.1}{1.2914 \sqrt{0.589}} = 2.2$$

$$H - Z_o = 2.8 - 2.2 = 0.6$$

$$\begin{aligned} Pa_3 &= \frac{1}{2} \times (\gamma_1 \times H \times Ka_1) \times H \times B \\ &= \frac{1}{2} \times (1.2914 \times 0.6 \times 0.589) \times 0.6 \times 2.5 \\ &= 0.343 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa_4 &= (\gamma_1 \times H_1 \times Ka_2) \times H_2 \times B \\ &= (1.2914 \times 2.8 \times 0.438) \times 6.5 \times 2.5 \\ &= 25.736 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa_5 &= \frac{1}{2} \times (\gamma_2 \times H_2 \times Ka_2) \times H_2 \times B \\ &= \frac{1}{2} \times (1.4242 \times 6.5 \times 0.438) \times 6.5 \times 2.5 \\ &= 32.944 \text{ T} \end{aligned}$$



Gambar 5.40. Tekanan Tanah Aktif

**Perhitungan Momen :**Momen sejajar dengan *wingwall* :

$$\begin{aligned}
 M &= Pa_1 \times 7.9 + Pa_2 \times 3.25 + Pa_3 \times 7.43 + Pa_4 \times 3.25 + Pa_5 \times 2.16 \\
 &= 100.32 \times 7.9 + 173.183 \times 3.25 + 0.343 \times 7.43 + 25.736 \times 3.25 + \\
 &\quad 32.944 \times 2.16 \\
 &= 1512.657 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Momen tegak lurus dengan *wingwall* :

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{2} \times q \times B^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 6.34 \times 2.5^2 \\
 &= 19.813 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

**Penulangan Wing Wall :**Penulangan sejajar dengan *wingwall*

$$M_n = 1512.657 \text{ Tm}$$

$$M_u = 1.2 \times 1512.65$$

$$= 1815.189 \text{ Tm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (P)} = 50 \text{ mm}$$

$$d = h - p - 0,5 \varnothing - \varnothing$$

$$= 400 - 50 - 8 - 16$$

$$= 326 \text{ mm}$$

$$f'_c = 22,5 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$F_{\max} = \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 450}{600 + 320}$$

$$= 0.416$$

$$F_{\min} = \frac{1.4}{RI}$$

$$= \frac{1.4}{191.25}$$

$$= 0.0073$$

$$K = \frac{Mn}{bd^2 RI}$$

$$= \frac{181518900}{1000 [326]^2 191.25}$$

$$= 0.0089$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

$$= 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.0089}$$

$$= 0.0089$$

$$F_{\max} > F > F_{\min}$$

$$0.416 > 0.0089 > 0.0073$$

$$A_s = \frac{F \times b \times d \times RI}{f_y}$$

$$= \frac{0.0089 \times 1000 \times 326 \times 191.25}{320}$$

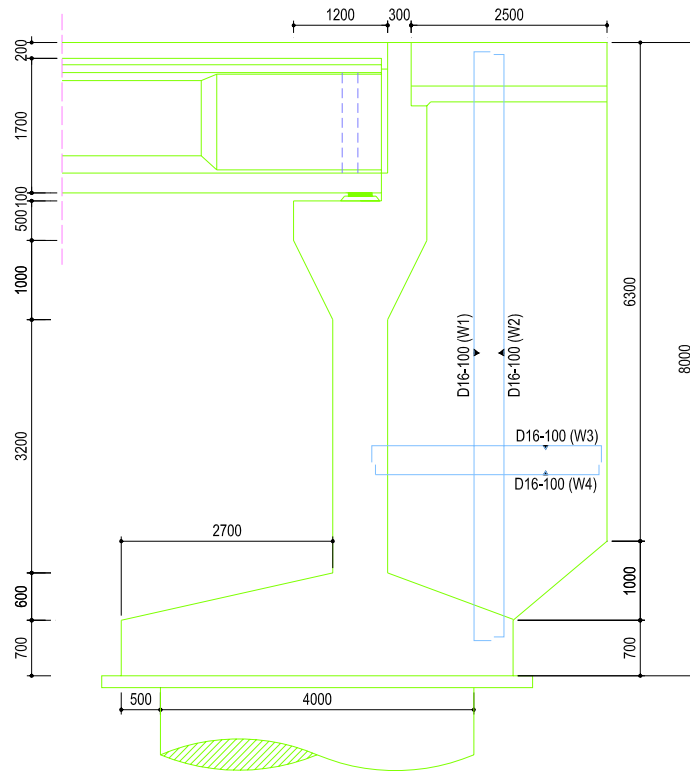
$$= 1734.039 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan D16 – 100 ( $A_s = 2011 \text{ mm}^2$ )

### Penulangan tegak lurus *wingwall*

Karena momen tegak lurus dengan *wingwall* (19.813 Tm) <<< Momen sejajar dengan *wingwall* (1512.657 Tm) maka penulangan arah ini dianggap sama dengan penulangan arah sejajar dengan *wingwall*.

Maka digunakan tulangan D16 – 100 ( $A_s = 2011 \text{ mm}^2$ )



**Gambar 5.41.** Sketsa Penulangan Wingwall

### 5.3.3. Perancangan Tebal Perkerasan Jalan Pendekat ( *Oprit* )

*Oprit* dibangun agar memberikan kenyamanan saat peralihan dari ruas jalan ke jembatan. Pada perancangan *oprit* Jembatan Tanggi, dihitung tebal perkerasan struktur tambahan dan struktur baru karena adanya perubahan alinyemen vertikal pada jembatan. Data – data yang digunakan dalam perhitungan adalah data LHR pada ruas jalan Salatiga – Boyolali dan umur rencana yang digunakan adalah 10 tahun, dengan pertimbangan akan ada perbaikan perkerasan pada masa umur rencana.



**Tabel 5.28.** LHR Umur Rencana Ruas Jalan Salatiga – Boyolali

No	Jenis Kendaraan	LHR Tahun 2002 (kend/hari)	LHR Tahun 2007 (kend/hari)	LHR Tahun 2008 (Pelaksanaan proyek 1 tahun) i = 3,33 %	LHR Tahun 2018 (Umur rencana 10 tahun) LHR11 = LHR0(1+i)11
1	Sedan, Jeep 2 ton	5059.00	5950.68	6147.05	8504.91
2	Opelet, pick up 2 ton	4803.00	5649.55	5835.99	8074.54
3	Mikro truk 6 ton	14633.00	17212.14	17780.15	24600.19
4	Bus 8 ton	2850.00	3352.33	3462.95	4791.26
5	Truk 2 sumbu 15 ton	1678.00	1973.76	2038.89	2820.96
6	Truk 3 sumbu 23 ton	685.00	805.73	832.32	1151.58
7	Truk Gandengan	503.00	591.66	611.18	845.62
8	Truk Semi trailer	451.00	530.49	548.00	758.20
Total		<b>30662.00</b>	<b>36066.34</b>	<b>37256.53</b>	<b>51547.26</b>

Sumber : Data Perhitungan Lalu Lintas Bina Marga tahun 2002

**Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan :**

1. Sedan, Jeep 2 ton (1+1)

$$= \left( \frac{1000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{1000}{8160} \right)^4 = 0.0002 + 0.0002$$

$$= 0.0004$$

2. Opelet, pick up 2 ton (1+1)

$$= \left( \frac{1000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{1000}{8160} \right)^4 = 0.0002 + 0.0002$$

$$= 0.0004$$

3. Mikro truk 6 ton (2+4)

$$= \left( \frac{2000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{4000}{8160} \right)^4 = 0.0036 + 0.0577$$

$$= 0.0613$$

4. Bus 8 ton (3+5)

$$= \left( \frac{3000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{5000}{8160} \right)^4 = 0.0183 + 0.1410$$

$$= 0.1593$$

5. Truk 2 sumbu 15 ton (5+10)

$$= \left( \frac{5000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{10000}{8160} \right)^4 = 0.1410 + 2.2555$$

$$= 2.3965$$

6. Truk 3 sumbu 23 ton (5+18)

$$= \left( \frac{5000}{8160} \right)^4 + 0.086 \left( \frac{18000}{8160} \right)^4$$

$$= 0.1410 + 2.036 = 2.177$$

7. Truk Gandengan 30 ton (5+18+5+5)

$$= \left( \frac{5000}{8160} \right)^4 + 0.086 \left( \frac{18000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{5000}{8160} \right)^4 + \left( \frac{5000}{8160} \right)^4$$

$$= 0.1410 + 2.0362 + 0.1410 + 0.1410 = 2.4592$$

8. Truk Semi Trailer 30 ton (5+18+21)

$$= \left( \frac{5000}{8160} \right)^4 + 0.086 \left( \frac{18000}{8160} \right)^4 + 0.053 \left( \frac{21000}{8160} \right)^4$$

$$= 0.1410 + 2.0362 + 2.3248$$

$$= 4.5020$$

**Perhitungan LEP ( Lintas Ekuivalen Permulaan ) :**

**Tabel 5.29.** Perhitungan LEP ( Lintas Ekuivalen Permulaan)

No	Jenis Kendaraan	LHR Tahun 2008	Cj ( Koef. Distribusi Kendaraan )	Ej ( Angka Ekuivalen )	LEP
1	Sedan, Jeep 2 ton	6147.05	0.30	0.0004	0.74
2	Opelet, pick up 2 ton	5835.99	0.30	0.0004	0.70
3	Mikro truk 6 ton	17780.15	0.30	0.0613	326.98
4	Bus 8 ton	3462.95	0.45	0.1593	248.24
5	Truk 2 sumbu 15 ton	2038.89	0.45	2.3965	2198.79
6	Truk 3 sumbu 23 ton	832.32	0.45	2.1770	815.38
7	Truk Gandengan	611.18	0.45	2.4592	676.36
8	Truk Semi trailer	548.00	0.45	4.5020	1110.19
Total		<b>37256.53</b>			<b>5377.37</b>

**Perhitungan LEA ( Lintas Ekuivalen Akhir ) :**

**Tabel 5.30.** Perhitungan LEA ( Lintas Ekuivalen Akhir )

No	Jenis Kendaraan	LHR Tahun 2018 (Umur rencana 10 tahun) LHR11 = $LHR0(1+i)^{11}$	Cj ( Koef. Distribusi Kendaraan )	Ej ( Angka Ekuivalen )	LEP
1	Sedan, Jeep 2 ton	8504.91	0.30	0.0004	1.02
2	Opelet, pick up 2 ton	8074.54	0.30	0.0004	0.97
3	Mikro truk 6 ton	24600.19	0.30	0.0613	452.40
4	Bus 8 ton	4791.26	0.45	0.1593	343.46
5	Truk 2 sumbu 15 ton	2820.96	0.45	2.3965	3042.19
6	Truk 3 sumbu 23 ton	1151.58	0.45	2.1770	1128.15
7	Truk Gandengan	845.62	0.45	2.4592	935.79
8	Truk Semi trailer	758.20	0.45	4.5020	1536.03
Total		<b>51547.26</b>			<b>7440.02</b>

**Perhitungan LET ( Lintas Ekvivalen Tengah ) :**

$$\begin{aligned}
 \text{LET} &= 0,5 * (\text{LEP} + \text{LEA}) \\
 &= 0,5 * (5377.37 + 7440.02) \\
 &= 6408.695 \text{ kend/hari/2 arah}
 \end{aligned}$$

**Menghitung LER ( Lintas Ekvivalen Rencana ) :**

$$\begin{aligned}
 \text{LER} &= \text{LET} * \frac{UR}{10} \\
 &= 6408.695 * \frac{10}{10} \\
 &= 6408.695 \text{ kend/hari/2 arah}
 \end{aligned}$$

**Mencari ITP untuk tebal perkerasan baru:**

$$\begin{aligned}
 \text{CBR tanah dasar} &= 6 \% \\
 \text{IP} &= 2,5 \\
 \text{DDT} &= 5 \\
 \text{Ipo} &= 3,9 - 3,5 \\
 \text{FR} &= 1,0 \\
 \text{LER} &= 6408.695 \text{ kend/hari/2 arah}
 \end{aligned}$$

Susunan perkerasan jalan baru rencana adalah sebagai berikut :

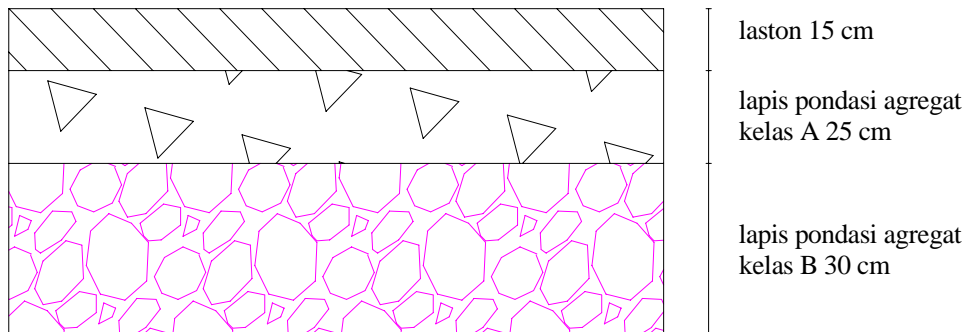
- Lapis pondasi agregat kelas A = 25 cm
- Lapis pondasi agregat kelas B = 30 cm

Dari nomogram 4 didapat ITP = 13

$$\text{ITP} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3$$

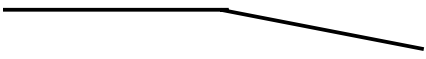



$$13 = 0.4 * D_1 + 0.14 * 25 + 0.12 * 30$$

$$D_1 = 14,75 \approx 15 \text{ cm Laston}$$



## 5.3.4. Perancangan Alinyemen Vertikal

Data Lengkung Vertikal :

1.  STA PPV1 = 14 + 165  
Elevasi PPV1 = 751,835 m  
Jarak PPV1 – PPV2 = 130 m
2.  STA PPV2 = 14 + 337  
Elevasi PPV2 = 741,230 m  
Jarak PPV2 – PPV3 = 80 m
3.  STA PPV3 = 14 + 463  
Elevasi PPV3 = 741,071 m  
Jarak PPV2 – PPV3 = 80 m
4.  STA PPV4 = 14 + 783  
Elevasi PPV4 = 762,478 m

Perhitungan Jarak Pandang :

## 1. Jarak Pandang Henti ( JPH )

$$\begin{aligned}
 d1 &= 0,278 \times V \times t \\
 &= 0,278 \times 80 \times 2,5 \\
 &= 55,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d2 &= \frac{V^2}{254 \text{ fm}} = \frac{80^2}{254 \times 0,35} \\
 &= 71,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= d1 + d2 \\
 &= 55,6 + 71,99 \text{ m} = 127,59 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel II.10 PGJAK'97 dengan kecepatan rencana 80 km / jam didapat jarak pandang henti minimum sebesar 120 m.

Dengan pertimbangan keamanan diambil jarak pandang henti = 128 m

## 2. Jarak Pandang Menyiap ( JPM )

$$t1 = 2,12 + 0,026 V$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,12 + 0,026 \cdot 80 \\
 &= 4,2 \text{ detik} \\
 t_2 &= 6,56 + 0,048 V \\
 &= 6,56 + 0,048 \cdot 80 \\
 &= 10,4 \text{ detik} \\
 a &= 2,052 + 0,0036 V \\
 &= 2,052 + 0,0036 \cdot 80 \\
 &= 2,34 \text{ detik} \\
 d_1 &= 0,278 t_1 \left( V - m + \frac{a \times t_1}{2} \right) \\
 &= 0,278 \times 4,2 \left( 80 - 15 + \frac{2,34 \times 4,2}{2} \right) \\
 &= 70,156 \text{ m} \\
 d_2 &= 0,278 \times v \times t_2 \\
 &= 0,278 \times 80 \times 10,4 \\
 &= 144,56 \text{ m} \\
 d_3 &= 30 - 100 \text{ m ; diambil 30 m} \\
 d_4 &= \frac{2}{3} d_2 \\
 &= \frac{2}{3} 144,56 \\
 &= 96,37 \text{ m} \\
 s &= d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \\
 &= 70,56 + 144,56 + 30 + 96,37 \\
 &= 341,493 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel II. 11 PGJAK'97 diperoleh jarak pandang mendahului sebesar 550 m, dengan pertimbangan keamanan diambil jarak minimum = 550 m

Keterangan :

- V = Kecepatan rencana ( km/jam )
- t = Waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik
- g = Percepatan Gravitasi, ditetapkan 9,81 m/det<sup>2</sup>
- f = Koefisien gesek memanjang perkerasan jalan aspal, ditetapkan 0,35 – 0,55
- d<sub>1</sub> = Jarak yang ditempuh selama waktu tanggap ( m )
- d<sub>2</sub> = Jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali kelajur semula
- d<sub>3</sub> = Jarak antar kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai

$d_4$  = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan, yang besarnya diambil sama dengan  $2/3 d_2$  ( m )

**Tabel 5. 31.** Perhitungan Alinyemen Vertikal

Sta	A = [ $\frac{g_1 - g_2}{100}$ ] %	Lv							
		Syarat JPH		Syarat JPL		Syarat Drainase	Bentuk Visual	Syarat Kenyamanan	Lv yang digunakan ( Dengan Pertimbangan Syarat Drainase )
		S < L	S > L	S < L	S > L	L < 50*A			
PPV1 Cembung	2.89	118.67	117.94	61.49	-137.63	144.50	48.67	240.00	308
PPV2 Cekung	2.22	91.28	76.51	47.30	-186.43	111.15	37.44	240.00	275
PPV3 Cekung	2.57	105.65	100.93	54.74	-157.67	128.65	43.33	240.00	325
PPV4 Cembung	1.03	42.29	-131.38	21.91	-431.31	51.50	17.35	240.00	257

**Tabel 5. 32.** Perhitungan Sta dan Elevasi

Sta		Elv	Lv	Ev	y		Awal ( PLV )		
					y1	y2		Sta PLV	Elevasi
PPV1 Cembung	14 + 165	751.83	308.15	1.11	1.11	0.05	14010.93	14+010	753.37
PPV2 Cekung	14 + 337	741.23	274.80	0.76	0.76	0.04	14199.60	14 + 199	760.30
PPV3 Cekung	14 + 463	742.07	325.15	1.05	1.05	0.05	14300.43	14 +300	752.91
PPV4 Cembung	14 + 783	762.48	257.45	0.33	0.33	0.04	14654.28	14+654	761.06

Sta 1/4 Lv			Sta PPv		Sta 3/4 Lv			Sta PTV		
Sta		Elevasi	Sta	Elevasi	Sta		Elevasi	Sta		Elevasi
14087.96	14+087	752.61	14 + 165	752.95	14242.04	14 + 242	747.09	14319.08	14+319	742.34
14268.30	14 + 268	745.46	14 + 337	741.99	14405.70	14 + 405	740.77	14474.40	14+474	740.31
14381.71	14 + 381	747.08	14 + 463	743.12	14544.29	14 + 544	736.24	14625.58	14+625	730.41
14718.64	14 + 718	767.09	14 + 783	762.81	14847.36	14 + 847	761.18	14911.73	14+911	759.88

### 5.3.5. Metode Pelaksanaan *Erection* Balok Girder

#### 1. Persiapan

##### Persiapan lokasi dan area kerja, meliputi :

1. Abutment
2. Pengadaan balok pratekan dari PT. WIKA BETON Boyolali

**Tabel 5. 33.** Spesifikasi Girder

Panjang Girder	Jumlah Segment	Panjang Segment (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
Bentang 30,8m	5 buah	6,2 – 6,5	0,7	1,70

3. Proses mobilisasi (pengiriman)
  - Pengiriman prategang dengan menggunakan truck trailer
  - Girder dalam bentuk segment yang berukuran 6.2 - 6.5 m
  - Girder dikirim setelah umur beton minimal 10 hari
4. Proses Penurunan Balok
 

Menggunakan *CRANE*, dengan memasang sling pengikat ke pengait crane.

#### 2. Penyusunan Segment Balok

Yang perlu diperhatikan pada tahap penyusunan balok adalah penyusunan harus sesuai dengan urutan nomer balok prategang.

##### Proses Penyusunan Balok Antar Segmen :

- Antar segmen dipasang spoon
- Antar segment balok girder direkatkan dengan campuran *EPOXYRESIN & HARDENER (SIKADUR)*

#### 3. Stressing

Untuk memberikan tegangan awal pada balok beton pratekan sehingga menimbulkan momen perlawanan terhadap momen yang diakibatkan beban hidup yang akan bekerja setelah jembatan difungsikan.

##### Peralatan yang digunakan :

- Stressing pump
- Rubber spring
- Baji
- Steel Anchorage

##### Hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat persiapan stressing

- Kabel strand harus bersih
- Pada saat memasukan strand jangan sampai terjadi lilitan didalam duct.

#### **Persiapan Stressing**

- Pemasangan Strand
- Pemasangan Angkur Mati
- Pemasangan Baji
- Pemasangan Angkur Hidup
- Siap untuk distressing

#### **Hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat stressing :**

1. Stressing dilakukan pada satu sisi yang merupakan angkur hidup
  2. Selama stressing dicatat pembacaan manometer pada *stressing pump*
- Setelah selesai, strand tendon tersisa dipotong 2-3 cm dari tepi terluar beji.

#### **4. Grouting & Finishing**

Proses pengisian rongga udara antara strand dengan duct dan antara strand dengan baji dengan adukan grout.

##### **Tujuannya:**

- Untuk melindungi tendon agar tidak terjadi korosi
- Memberi ikatan antara tendon dengan beton
- Meratakan pembagian tegangan pada seluruh bentang

##### **Tahapan Pelaksanaan :**

1. Dengan mesin grouting adukan dipompa melalui salah satu lubang sisi sampai seluruh duct terisi penuh
2. Apabila sisi yang bersebrangan sudah muncul adukan serupa menandakan volume dalam duct sudah penuh
3. Setelah selesai, ujung gelagar ditutup dengan adukan semen dan pasir agar rapi.

#### **5. Erection**

##### **Proses Erection :**

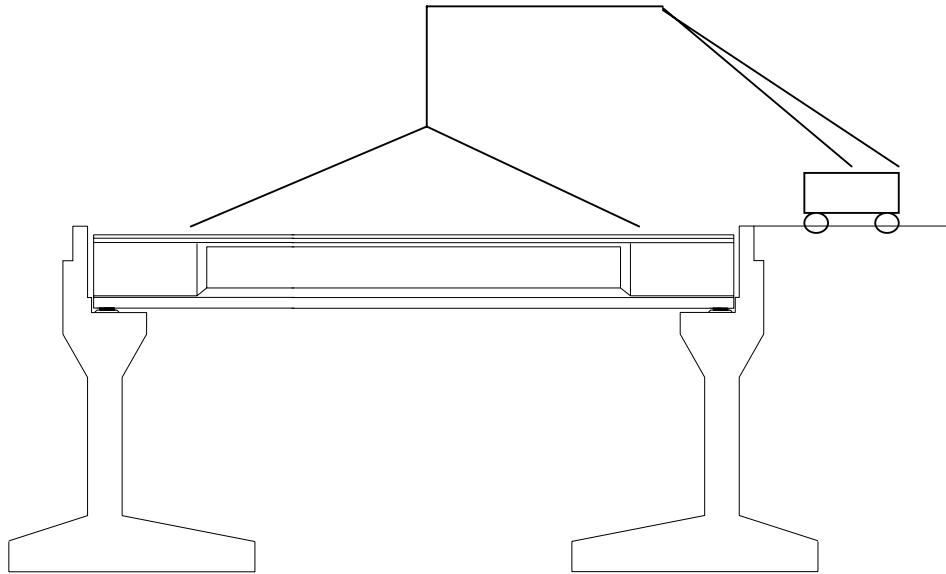
Dengan **sistem pemasangan cara pengangkatan** dengan menggunakan 1 crane.

Pertimbangan :

- Elevasi
- Kapasitas crane
- Panjang bentang
- Kondisi lokasi

Pelaksanaan :





**Gambar 5.43.** Proses Erection balok girder

#### **6. Pemasangan Elastomer**

Balok prategang diangkat dengan crane kemudian elastomer dipasang ditumpuan secara manual.